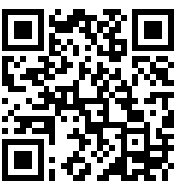
This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com





A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

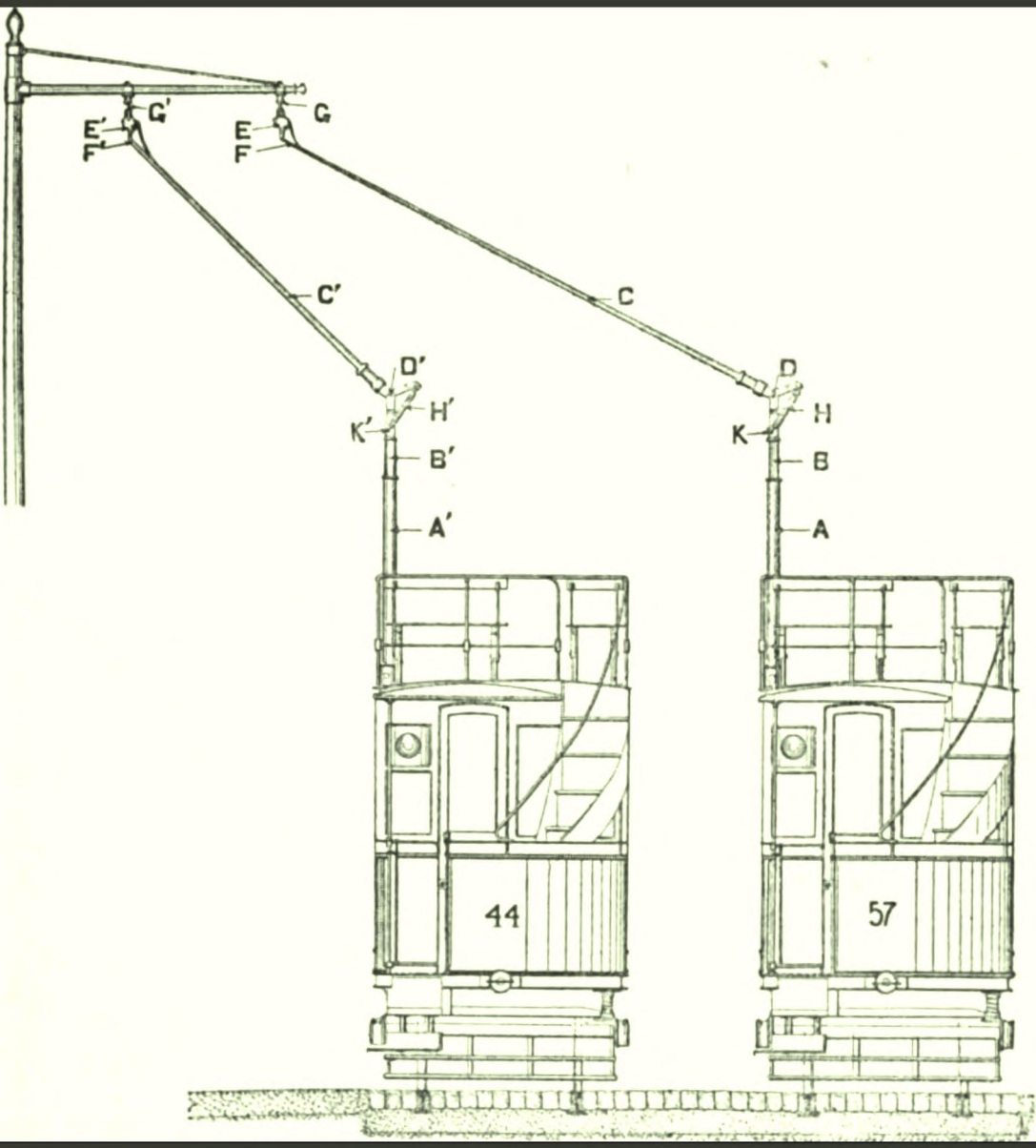
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

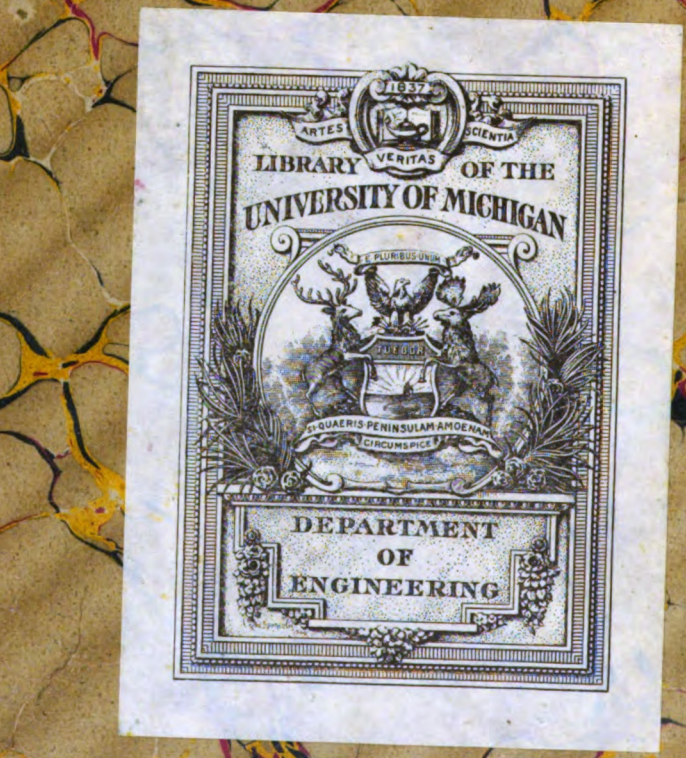
En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



Bulletin

Association des Ingenieurs Electriciens Sortis de l'Institut Electrotechnique Montefiore, Liege

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

[redacted]
LIBRARY
TK
2
.A85

Digitized by Google

Digitized by Google

N° 1-2. PUBLIÉ LE 4 FÉVRIER 1894.

BULLETIN

DE

L'Association des Ingénieurs Electriciens

SORTIS DE

L'Institut Electro-Technique

MONTEFIORE

DEUXIÈME SÉRIE

TOME V.

Secrétaire Général

M. GUSTAVE L'HOEST, quai Mativa, 22, à Liége.

Secrétaire-adjoint

M. Georges PHILIPPE, rue Bonne-Femme, 61, Grivegnée.

On est prié d'adresser au Secrétaire-Général toutes les communications relatives aux publications de la Société.

ABONNEMENT ANNUEL . . . . FRS. 20-mm.
PRIX DU PRÉSENT FASCICULE . . » 4-mm.

PARIS

GAUTHIER-VILLARS et fils éditeurs, quai des Grands-Augustins, 55.

1894

Digitized by Google

Digitized by Google

LISTE DES MEMBRES

PRÉSIDENT D'HONNEUR :

M. le Sénateur George MONTEFIORE, fondateur de l'Institut Montefiore, rue de la Science, 35, Bruxelles.

VICE-PRÉSIDENT D'HONNEUR :

M. Eric GERARD, directeur de l'Institut Montefiore, rue St-Gilles, 43, Liége ;

MEMBRES HONORAIRES :

MM. AYRTON, W.-E., professeur au City and Guilds of London central Institution, Exhibition Road, London S. W. ;

BANNEUX, P.-J., directeur d'administration des télégraphes à Bruxelles ;

CORNU, M.-Al., membre de l'Institut, ingénieur en chef des mines, professeur à l'Ecole polytechnique, rue de Grenelle, 9, à Paris;

DELARGE, Frédéric, directeur-général des télégraphes, Bruxelles (Hôtel des Télégraphes) ;

FERRARIS, Galiléo, professeur à l'Université de Turin ;

HERTZ, Henri, professeur à l'Université de Bonn ;

HOPKINSON, J., professeur au King's College de Londres, Victoria Street, 5, Westminsters Chambers ;

Lord KELVIN of LARGS, professeur à l'Université de Glasgow.

Digitized by Google

KITTLER, Erasmus, professeur à l'école technique supérieure de Darmstadt ;

MASCART, E.-E.-N., membre de l'Institut, professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université, Paris.

POTIER, ingénieur en chef des mines, professeur à l'école polytechnique, Paris ;

ROITI, A., professeur à l'école des hautes études de Florence ;

ROUSSEAU, B., professeur à l'Université, 30, rue Vautier, Bruxelles ;

THOMSON, Elihu, professeur à Lynn (Mass). — Etats-Unis.

COMITÉ :

MM.	FRANCKEN, Edmond,	*Président.*
	BAYET, Maurice,	*Vice-Président.*
	CRUCIANI, Joseph,	»
	DE BAST, Omer,	»
	HENRARD, Georges,	»
	L'HOEST, Gustave,	*Secrétaire-Général.*
	GROTTENDIECK, Paul,	*Trésorier.*
	COLARD, Oscar,	*Commissaire.*
	DIERMAN, William,	»
	LARMOYER, Georges,	»
	MÉLOTTE, Félix,	»
	PHILIPPE, Georges,	*Secrétaire-adjoint.*

ANCIENS PRÉSIDENTS :

MM.	ZUNINI, Luigi,	(1887-1889).
	LIBERT, Joseph,	(1889-1890).
	DE WEYDLICH, Titus,	(1890-1891).
	DEMANY, Léon,	(1891-1892).
	DE BAST, Omer,	(1892-1893).

Digitized by Google

MEMBRES EFFECTIFS :

ANDRINGA, Alexandre (électricien 1891), capitaine commandant d'artillerie, boulevard de la Constitution, 23, Liége.

ARENDT, Charles (mines 1883, électricien 1884), ingénieur, rue Trappé, 8, Liége.

ASTFALCK, Alfred (électricien 1886), ingénieur chez MM. Lahmeyer et Cie, Scharnhorststrasse, 37 II, Francfort-a/M.

BAIVY, Edouard, (électricien 1892) ingénieur à l'Administration des Télégraphes, rue de la Sablonnière, Bruxelles.

BARBERIS, Jean (électricien 1885), directeur de l'atelier des lampes Cruto à Alpignano (Turin).

BAYET, Maurice (électricien 1888), ingénieur, rue Paul Devaux, 1, Liége.

BÈDE, Philippe (électricien 1890), ingénieur, der Firma « Fréd. C. Jenkins », Königstrasse, 4, Hambourg.

BERTEMATI, Carlos (mines 1884, électricien 1886), directeur des mines de Cuatro Amigos, rue Larga, 59, Jerez de la Frontera (Espagne).

BERTOLINI, Jules (électricien 1889), lieutenant de la marine royale italienne, SS. Apostoli, sul canal Grande, Venise.

BLANDOT, Charles (mines 1889, électricien 1890), ingénieur, rue Grailait, 26, Bruxelles.

VON BOSCHAN, Arthur (ponts et chaussées 1881), ingénieur aux chemins de fer Kaiser Ferdinand Nordbahn, Burgring, 1, Vienne.

Digitized by Google

BOURQUIN, Jules (électricien 1890), ingénieur, secrétaire de la Direction des usines à gaz, rue de Condé, 5, Bordeaux.

BROAD, Collin (électricien 1890), ingénieur de la Cie Mogyana de estradas de ferro, Campinas, Brésil.

BRONNE, Georges (électricien 1893), ingénieur, rue Darchis, 40, Liége.

BRUNHES, Louis (électricien 1893), assistant à l'Institut Montefiore, boulevard d'Avroy, 12, Liége.

CAHEN, Gustave (électricien 1892), ingénieur, 5, rue Ste-Croix, Sarreguemines.

CALVÉ, Fernand (électricien 1893), ingénieur des arts et manufactures, rue de la Boétie, 114, Paris.

CAMMEO, A. (ponts et chaussées 1885), ingénieur et industriel, via Solferino, 7, Milan.

CAVALLI D'OLIVOLA, comte Camillo (électricien 1884), via di Po, 30, Turin.

CENTURIONE, Carlo (électricien 1886), chef de la station centrale d'électricité, à Mlaka (Fiume) Hongrie.

CHANTRAINE, Alphonse (électricien 1888, mines 1889), ingénieur à la fabrique de câbles de MM. Hen et Cie, rue Stephenson, 10, Bruxelles.

CHAUDOIR, Maurice (électricien 1890), docteur en sciences physiques et mathématiques, directeur de l'Institut polytechnique de Liége, préparatoire aux études supérieures, rue de Sclessin, 10, Liége.

CIGOGNA MOZZONI (comte) Charles, (électricien 1893), ingénieur à l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, Schiffbauerdamm, 22, Berlin

DE CLAUSONNE, Alfred (mines 1889), ingénieur aux établissements Sautter Lemonnier, 58, boulevard Malesherbes, Paris.

Digitized by Google

CLOSE, Ernest (mines 1884, électricien 1885), ingénieur à l'Administration des télégraphes, rue Vondel, 50, Bruxelles.

COLARD, Oscar, (électricien 1892), ingénieur à l'Administration des Télégraphes, rue de la Sablonnière, 13, Bruxelles.

COSTA, Emile (électricien 1885), ingénieur à la Société Anglo-Romana per l'illuminazione elettrica, Piazza Poli, 14, Rome.

COUNE, Gustave (électricien 1891), ingénieur civil, chef de section au service des eaux et de l'électricité de la ville de Gand, Cloître St-Bavon, 7, Gand.

CRUCIANI, Joseph (électricien 1889), ingénieur à la Société Electricité et Hydraulique à Charleroi.

DARDENNE, Henri (mécanicien 1892, électricien 1893), ingénieur des Télégraphes, rue Fossés-aux-Loups, 33, Bruxelles.

DAWSON, Philip (ponts et chaussées 1890, électricien 1891), 39, Victoria Street, London, S. W..

DE BAST, Omer (électricien 1890), assistant à l'Institut Montefiore, rue de la Régence, 10, Liége.

DELESCOU, (électricien 1892) professeur à l'Université, Strada Teilor, Bucarest.

DEMANY, Ernest (électricien 1893), ingénieur à l'administration des Télégraphes, rue St-Lazare, 69, Bruxelles.

DEMANY, Léon (arts et manuf. 1878, électricien 1885), ingénieur, avenue Quantin Massys, 36, Anvers.

DEMARET, Léon (mines 1884, électricien 1885), ingénieur au corps des mines à Mons.

DERCLAYE, Oscar (électricien 1893), ingénieur au corps des mines, rue Ste-Véronique, 27, Liége.

DETHIOUX, Joseph (électricien 1893), ingénieur des mines, à Pousset (Remicourt),

Digitized by Google

DEWANDRE, Emile (électricien 1893), ingénieur des mines, rue du Brabant, 1, Charleroi.

DIERMAN, William (électricien 1888), ingénieur, rue de la Sablonnière, 27, Bruxelles.

DISCRY, Emile (mines 1889, électricien 1890), ingénieur au corps des mines, rue du Pont-Neuf, 22, Charleroi.

DONEDDU, Louis, (électricien 1892) ingénieur à Macerata, Italie.

DUSSART, Charles (mines 1884, électricien 1886), ingénieur à l'Administration des télégraphes, Gand.

DE ERCORECA, Rufino (mécanicien 1888, électricien 1890), chez Armando Legorgen, à Bilbao (Espagne).

EVEN, Victor (électricien 1887), place St-Jean, 23, Liége.

FARMAN, Dyck (électricien 1891), 53, rue Lafayette, Paris.

FIRKET, Victor (électricien 1893), ingénieur au corps des mines, rue Dartois, 28, Liége.

FRANCKEN, Edmond (mines 1878, électricien 1891), ingénieur aux chemins de fer de l'Etat, quai de Fragnée, 19, Liége.

FRENAY, Henri (mines 1883, électricien 1884), ingénieur à l'Administration des télégraphes, rue Dailly, 64, Bruxelles.

GABRIELLI WIESEMAN (comte) Charles (électricien 1892), lieutenant de vaisseau de la marine royale italienne.

GARNIER, Victor (électricien 1886), ingénieur by Thomson Houston Electric C°, Lynn, Mass. Etats-Unis.

GÉRARD, Emile (mines 1883, électricien 1884), constructeur d'appareils de physique et de précision, quai d'Amercœur, 20, Liége.

GERLERI, César (électricien 1884), ingénieur à Pinerolo, per Osasco, province de Turin.

Digitized by Google

GILLON, Paul (électricien 1893), ingénieur des mines, avenue Rogier, 27, Liége.

DE GOURGHENBEKOFF, Abel (électricien 1891), rue Micaïlowska, 101, Tiflis.

GRITTERS, Hendrik (électricien 1891), ingénieur des signaux au chemin de fer de l'Etat néerlandais, Oudegracht, F 50 bis, Utrecht.

GROTTENDIECK, Paul (électricien 1890, mécanicien 1891), ingénieur à la Société électricité et hydraulique, boulevard Audent, 46, Charleroi.

VON HAHN, Karel (électricien 1893), docteur en philosophie, Operngasse, 8, Vienne.

HENRARD, Georges (électricien 1889), ingénieur à la Cie internationale d'électricité, Herstal.

D'HOOP, Ernest (électricien 1893), ingénieur à la Cie des tramways bruxellois, rue de Hollande, 48, Bruxelles.

JANSSEN, Alfred (mines 1889, électricien 1890), ingénieur à la Cie internationale d'électricité, rue de la Province, Liége.

JONA, Emmanuel (électricien 1885), ingénieur à la manufacture de câbles Pirelli, Milan.

DE JONGE, Willem (électricien 1891), ingénieur-mécanicien, Scheveningsche Weg, La Haye.

KEIFFENHEIM, Hugo (électricien 1891), Fernwood road, Newcastle on Tyne.

LAMBERT, Alphonse (électricien 1893), ingénieur honoraire des ponts et chaussées, avenue de la Grande Armée, 79, Paris.

LARMOYER, Georges (électricien 1888), directeur de la Société anonyme pour la construction d'appareils de sécurité pour voies ferrées, rue Sohet, 6, Liége.

LEMAIRE, Léon (mines 1887, électricien 1888), ingénieur, rue Paradis, 82, Liége.

Digitized by Google

DE LEMOS, Basto (électricien 1890), Directeur général des Postes et Télégraphes des Etats-Unis du Brésil, Rio de Janeiro.

L'HOEST, Gustave (mines 1874, électricien 1888), ingénieur principal aux chemins de fer de l'Etat, quai Mativa, 22, Liége.

LIBERT, Joseph (mines 1874, électricien 1884), ingénieur principal au corps des mines, boulevard Audent, 108, Charleroi.

LOEWENSTEIN, Alfred (mines 1891, électricien 1893), ingénieur, 45, rue de Courcelles, Paris.

LUDERGNANI, J. (électricien 1889), ingénieur à la Société Electricité et Hydraulique, rue de Marcinelle, Charleroi.

MANARA, Manarino (électricien 1889), ingénieur, rue S. Antonio, 21, Milan.

MANZI (électricien 1892) ingénieur à Civita Vecchia, Italie.

MARCHETTI, Conrad (électricien), lieutenant au 26e régiment d'artillerie, à Venise.

MASSON, Emile (mines 1885, électricien 1885), ingénieur au corps des mines, directeur du matériel des charbonnages de Marihaye, à Flémalle-Grande.

DE MELLO, Benjamin (électricien 1890), lieutenant de vaisseau de la marine des Etats-Unis du Brésil, Club Naval, Rio de Janeiro.

MÉLOTTE, Félix (mines 1887, électricien 1888), ingénieur à la Cie internationale d'électricité, quai du Canal, 23, Herstal.

MINSIER, Camille (mines 1873, électricien 1885), ingénieur principal au corps des mines, rue Baslé, Charleroi.

MORELLI, Hector (électricien 1886), ingénieur chez MM. Bellani-Fratelli (Thomson Houston International Electric Co), via Cibrario, 18 Turin.

Digitized by Google

NAGELMACKERS, Gaston (A et M. 1891, électricien 1892) ingénieur, rue du Pot-d'or, 55, Liége.

NAGTGLAS-VERSTEEG, Cornelis Dirk (électricien 1891), ingénieur à la Société Helios, Simrochstrasse, 7, Cologne Ehrenfeld.

NAVARRO, VIOLA, Jorge (électricien 1893), élève-ingénieur, 16, calle Cindadanos, Gerona (Espagne).

NOÉ, Francesco, ingénieur-mécanicien (électricien 1892) Casa Dassi, Pavie.

NOIRFALISE, Léon (A. et M. 1891, électricien 1892) ingénieur, quai de l'Université, 5, Liége.

NOWINSKI, Joseph, ingénieur à l'usine électrique (ingénieur I. Margulis), rue Langeron, Odessa.

ORBAN, Charles (mécanicien 1889, électricien 1890), ingénieur, Avenue de Wagram, 165, Paris.

PEDRIALI, Guiseppe (électricien 1892) ingénieur à la Société Union Elektricitäts Gesellschaft de Berlin, rue Van Artevelde, 35, Bruxelles.

PESCETTO, Frédéric (électricien 1887), major du génie militaire, professeur à l'école d'application d'artillerie et du génie, Turin.

PICARD, Georges (électricien 1889), directeur technique des papeteries Olin, à Virginal.

PICAZO, Léopold (électricien 1890), ingénieur de la Armada, pasage de Vila, 3, Séville.

PIERARD, Emile (mines 1886, électricien 1887), ingénieur à l'Administration des télégraphes, rue de l'Enseignement, 70, Bruxelles.

QUINAUX, Ernest, major d'artillerie, boulevard de la Sauvenière, 66, Liége.

RANSY, Auguste (mines 1879, électricien 1884), ingénieur, rue du Parc, 57, Liége.

Digitized by Google

ROOSEN, Alfred (mines 1885, électricien 1886), ingénieur à l'Administration des Télégraphes, Bruxelles.

RUEMPOL, Everhard (électricien 1893), capitaine du génie, Ginneken, près de Bréda.

RUTTEN, Arthur, (électricien 1892) ingénieur à l'Union Elektricitäts Gesellschaft (Thomson-Houston), rue Moretus, 14, Bruxelles.

DE RYCKERE, Georges (ponts et chaussées 1890, électricien 1891), chargé de cours à l'Université de Gand.

SANTARELLI, Georges (ponts et chaussées 1887, électricien 1888), ingénieur à l'Administration de la marine, place Vittorio Emanuele, 9, Spezia.

SCARAMANGA, Pantalemon (mécanicien 1890, électricien 1891), ingénieur à la Vieille-Montagne, à Chênée.

SÉE, Armand, (électricien 1892) ingénieur de la maison E. et P. Sée (constructions industrielles, éclairage, chauffage, ventilation, humectation, etc.) rue Nicolas-Leblanc, 50, Lille.

SEGRE, Vito (électricien 1886), ingénieur, rue Massena, Turin.

SERRA CASSANO, Louis (électricien 1893), ingénieur, Monte di Dio, 14, Naples (Italie).

TASTÉ, Albert (mines 1889, électricien 1892), ingénieur à Verviers.

TURCONI, Italo (ponts et chaussées 1878, mines 1884), ingénieur, Piazza del Duomo, 22, Milan.

VAN DER GOOT, Fiepko (électricien 1891), ingénieur-mécanicien, ingénieur aux chemins de fer de l'Etat Néerlandais, Donkere Gaard, 6, Utrecht.

VAN PREHN, W.-O., (électricien 1892) ingénieur, Raamstraat, 51A, La Haye.

VAN VLOTEN, Paul (mines 1884, électricien 1885), ingénieur, rue de la Loi, 77, Bruxelles.

Digitized by Google

VERDELEANU, Léon (électricien 1893), ingénieur-mécanicien, rue St-Jacques, 5, Liége.

DU WELZ, Maurice (mines 1887, électricien 1889), directeur technique de la Société Electricité et Hydraulique, rue du Chalet, 14, St-Josse-ten-Noode (Bruxelles).

DE WEYDLICH, Titus (ponts et chaussées 1885, électricien 1888), directeur des téléphones de Madrid.

WINSLOW, Georges-Herbert (électricien 1888), ingénieur à la Cie Westinghouse, Aiken Avenue, Pittsburgh, Penna (Etats-Unis).

ZUNINI, Luigi (électricien 1884), professeur à l'Institut technique supérieur, Piazza Duomo, 25, Milan.

MEMBRES ASSOCIÉS :

BOULVIN, Roch (mines 1881), ingénieur à l'Administration des télégraphes, rue de la Croix de Fer, 35, Bruxelles.

CABELLA, Bartholomeo, directeur de la Tecnomasio, Milan.

DE CAZENAVE, ingénieur en chef du service technique de la Cie belge du téléphone Bell, boulevard Léopold, 13, Anvers.

CLOEREN, Henri, chef du service des Essais aux usines de bronze phosphoreux de M. G. Montefiore-Levi, rue de Douvres, 15, Anderlecht, Bruxelles.

CORNET, Louis, ex-officier d'artillerie, directeur de la Cie Belge du téléphone Bell, place du Marché au Beurre, Anvers.

DULAIT, Julien (mines 1878), administrateur gérant de la Société Electricité et Hydraulique, rue Prunieau, 1, Charleroi.

HELLER, Edmond, Ober ingénieur der Allgemeinen Elektricitäts Gesellschaft, Schiffbauerdamm, 22, Berlin.

Digitized by Google

HEN, Léon, ancien officier du génie, fabricant de câbles électriques, rue de la Concorde, 33, Bruxelles.

LEBRUN, B., ateliers de construction de Nimy, Mons.

MACQUET, Auguste (mines 1876), ingénieur au corps des mines, directeur de l'Ecole des mines, boulevard Dolez, 22, Mons.

MALENGRET, Achille, ingénieur, rue du Gouvernement, 1, Mons.

MANNE, Jacques, directeur de la fabrique de bronze phosphoreux, rue du Bronze, 8, Anderlecht (Bruxelles).

PASQUALINI, Louis, professeur, ingénieur électricien, via Colombo, 5, Spezia.

PIEPER, Henri (fils), administrateur délégué de la Cie internationale d'électricité, rue des Bayards, Liége.

PROCTOR FARADAY, ingénieur-électricien, chargé de la fabrication des instruments et montures électriques à la Edison Swan United Electric Light C^on^ L^d^, 2, Bedfort Villes, Southbury Road, Enfield (Middlessex), Angleterre.

VAN DEN KERCKHOVE, Armand, ingénieur, rue de la Loi, Bruxelles.

WEILER, Max, ingénieur à la Société Electricité et Hydraulique, Charleroi.

WEINMAN, industriel, rue Royale Ste-Marie, 86, Bruxelles.

MEMBRES TEMPORAIRES :

VAN AARDENNE, Jean, ingénieur-mécanicien, Spuiweg, Dordrecht.

DE AGUIAR D'ANDRADA, Edouard, ex-officier de marine, place St-Jean, 23, Liége.

BISKE, Michel, licencié en sciences physiques et mathématiques, rue Grétry, 21, Liége.

BOUVA, J., ingénieur, place Delcour, 5, Liége.

Digitized by Google

BRONNE, Louis, rue d'Archis, 40, Liége.

BUSSET, Paul, ingénieur, rue Grandgagnage, 11, Liége.

CAFFAREL, Arthur, cand. mech., rue St-Gilles, 47, Liége.

CHEMIN-PALMA, Gio, ingénieur, rue Reynier, 34, Liége.

CLÉRICI, Carlo, ingénieur, rue Reynier, 34, Liége.

CROMBÉ, G., ingénieur, place de l'Université, 13, Liége.

DAMSEAUX, Raymond, ingénieur, rue Fabry, 66, Liége.

DECROËS, Joseph, ingénieur, rue Fabry, 66, Liége.

DELEPAULT, J., ingénieur, quai de l'Ourthe, 47, Liége.

DEMARET, Clovis, élève-ingénieur, rue Tête-de-Bœuf, 9, Liége.

DERU, Joseph, ingénieur des mines, rue Jean-d'Outremeuse, 55, Liége.

DEWAEY, Jean, ingénieur, rue St-Jacques, 5, Liége.

DREYE, Alexis, élève-ingénieur, boulevard de la Sauvenière, 31, Liége.

DUBOIS, A., ingénieur, rue Surlet, 8, Liége.

FERRAND, A., ingénieur, rue du Mouton-Blanc, 1, Liége.

HERDT, Louis, ingénieur, rue de l'Université, 27, Liége.

ILKOFF, U., élève-ingénieur, quai de la Dérivation, 17, Liége.

JAVAL, Jean, ancien élève de l'école polytechnique, rue Fabry, 20, Liége.

JOURNEAUX, H., ingénieur, Bressoux (Liége).

JULIUS, C.-H., officier de la marine hollandaise, rue Vinave-d'Ile, 1, Liége.

MAGENTIES, L., ingénieur, rue du Mouton-Blanc, 1, Liége.

MANSION, Albert, ingénieur mécanicien, rue des Rotisseurs, Huy.

Digitized by Google

MARENGO, Joseph, ingénieur, place St-Paul, 1, Liége.

MARKOVITCH, Stefan, docteur en sciences physiques, rue St-Jean, 5, Liége.

MARTENS, ingénieur, rue de Namur, Louvain.

MICHAUX, Camille, ingénieur civil, place de la Gare, 23, St-Quentin.

MULKAY, Clément, ingénieur des mines, rue Louis-Jamme, 23, Liége.

MURET, Henri, électro-technicien, rue Sainte-Véronique, 25, Liége.

NIEUWLAND, Pierre, ingénieur rue du Jardin Botanique, 5, Liége.

NIHOTTE, Z., élève ingénieur, rue Léopold, Seraing.

NOBLI, Dino, rue St-Gilles, 276, Liége.

PHILIPPE, Georges, élève ingénieur, rue Bonne-Femme, 61, Grivegnée.

PLANOS Y ESCUBAS, élève-ingénieur, rue Chevaufosse, 1, Liége.

REGOUT, Eugène, ingénieur des mines, boulevard Piercot, 1, Liége.

SCHEFFER, J.-M.-G., ingénieur-mécanicien, rue André Dumont, 19, Liége.

SEMENZA, Guido, ingénieur, rue Reynier, 34, Liége.

STEELS, Oscar, ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées, boulevard de la Constitution, 99, Liége.

VITALE, Maurice, ingénieur civil, rue Hulloz, Liége.

WINSHIP, Lionel, élève libre, place de Bronckart, 1, Liége.

ZELENAY, Constant, élève ingénieur, quai de la Boverie, 33, Liége.

Digitized by Google

SÉANCE DU 26 NOVEMBRE 1893

Présidence de M. Francken, président.

Ont signé la liste de présence: MM. Bayet, Bouva, Busset, Chantraine, Crombé, De Bast, Derclaye, Delepault, Dubois, Firket, Francken, Gerard Eric, Ilkoff, Journeaux, Larmoyer, L'Hoest, Libert, Magenties, Marcovitch, Mélotte, Nieuwland, Noirfalise, Scheffer, de Weydlich.

M. **Francken**, *président*. — En l'absence de renseignements qui ne sont pas encore parvenus au Secrétaire Général, celui-ci a dû différer la publication des procès-verbaux de séance du mois dernier. Je vous propose donc d'ajourner l'approbation de ceux-ci. — (Adopté).

Lors de la visite toute récente du Roi à l'Institut Montefiore, nous eûmes l'honneur, le Secrétaire Général et moi d'être présentés à Sa Majesté. Le Roi ayant paru s'intéresser à notre Association, nous l'avons prié de bien vouloir agréer l'hommage de notre bulletin.

Nous sommes heureux de vous notifier que le Roi a accueilli notre offre de la manière la plus bienveillante et la plus grâcieuse.

M. Grottendieck, trésorier, retenu à Bruxelles, prie l'assemblée de reporter, à l'ordre du jour de la prochaine séance, son rapport sur la situation financière de notre Société.

M. **L'Hoest**, *secrétaire-général*, dépose ensuite le rapport ci-après, sur les travaux de l'Association accomplis pendant l'exercice écoulé et sur la situation de la Société à la date de ce jour. (Lecture de ce rapport est donnée en séance).

Messieurs,

Les années précédentes, j'ai eu l'honneur de vous signaler l'état prospère de notre jeune Association. Cette année

Digitized by Google

encore, je suis heureux de constater l'accroissement continu du nombre de nos membres qui, de 157 au 1er novembre 1892, s'est élevé aujourd'hui à 189. Dans ce nombre, nous comptons 16 membres honoraires, 112 effectifs, 18 associés et 43 temporaires.

Nous devons ici répéter l'expression de notre gratitude à MM. Ayrton, Banneux, Ferraris, Hertz, Hopkinson, Kittler, Mascart, Potier, Roïti, Rousseau et Elihu Thomson qui, en agréant le titre de membre honoraire, ont bien voulu donner à notre Société un précieux témoignage de l'intérêt qu'ils portent à nos travaux.

Vous avez voulu distinguer, parmi les membres honoraires, celui qui a créé l'enseignement de l'Institut Montefiore et dont nous avons si souvent apprécié l'active collaboration à nos études. Nous sommes reconnaissants à M. le Professeur Gerard d'avoir accepté la vice-présidence d'honneur de notre société.

Dans le cours de l'année, nous avons eu la douleur de perdre deux de nos plus sympathiques camarades, MM. Dejardin et Hooze, le premier succombant à 24 ans aux atteintes d'un mal qui ne pardonne pas, l'autre enlevé inopinément à l'affection de sa famille, alors qu'après une carrière toute d'honneur au service des Pays-Bas, l'attrait des études scientifiques l'avait amené parmi nous.

***

Il me reste à présent à vous rappeler succinctement les travaux présentés à notre société pendant l'exercice écoulé.

Je dois une mention toute spéciale à l'étude justement remarquée que notre Président, M. de Bast, nous a produite sous forme d'adresse inaugurale. L'examen critique qu'il a fait des recherches récentes sur les transformateurs à courants alternatifs, exigeait à la fois une connaissance approfondie du sujet et une aptitude particulière

Digitized by Google

à discerner les avantages et les difficultés pratiques des méthodes proposées. Vous avez apprécié, Messieurs, avec quelle érudition, quelle précision dans l'exposé et quelle sûreté dans le jugement, notre président a traité cette importante question.

Nous devons au même camarade une note très-claire sur deux nouveautés dans la construction des dynamos, l'induit auto-excitateur imaginé par Sayers et l'alterno-moteur asynchronique monophasé de Brown.

Une des belles applications de l'utilisation des forces naturelles réalisées dans ces derniers temps, a été faite à Gènes par la Cie l'Industrie Electrique de Genève. Notre vice-Président d'honneur, M. le Professeur Gerard, a visité ces importantes installations et nous en a donné la description avec la lucidite et la précision auxquelles il nous a habitués dans son enseignement.

Nombre de problèmes restent sans solution satisfaisante, parce que ceux-là qui peuvent les résoudre ne sont pas en possession des conditions multiples à satisfaire. Il en a été longtemps ainsi du Block-system, cet auxiliaire chaque jour plus précieux de l'exploitation des chemins de fer. Aux électriciens désireux de contribuer au perfectionnement des moyens déjà acquis, M. Larmoyer a donné un exposé complet et méthodique des lois à observer dans la conception des appareils de l'espèce. Comme exemple de solution, il nous a décrit minutieusement les appareils Flamache dont l'application vient précisément d'être faite sur la ligne de l'Ourthe.

Le gazier et l'électricien sont aujourd'hui d'ardents champions dans la lice industrielle. M. Bourquin pense que l'un et l'autre trouveraient profit à s'entendre : au gazier à fournir la force motrice que l'électricien transformerait en lumière. Cette idée, il l'a développée, en s'appuyant sur de nombreux chiffres, dans deux notes qu'ils nous a présentées, sur l'emploi des moteurs à gaz dans l'industrie électrique.

Digitized by Google

La traction électrique compte encore peu d'applications sur le continent ; il n'est pas aisé à l'ingénieur de recueillir des données pratiques pour la rédaction des projet de tramways. C'est donc avec beaucoup d'intérêt que nous avons accueilli une communication par laquelle notre camarade M. Dawson nous a initiés aux détails de l'établissement d'une exploitation de ce genre.

Les données que nous tenons de M. Dawson ont été complétée par un travail très-substantiel de M. Dierman qui a étudié la question de très près en Amérique et nous a entretenus tout particulièrement de l'appareillage des lignes et de l'organisation technique du service.

Un spécialiste, M. Mélotte, nous a présenté un exposé critique des diverses méthodes d'essai des machines dynamo-électriques en insistant sur les précautions dont une pratique déjà longue de ces sortes de mesure, lui avait fait reconnaître l'utilité.

La théorie des moteurs à champ tournant est loin d'être établie au point qu'il ne reste pas place à la controverse. M. Farman nous a apporté une contribution à l'étude de ces moteurs, assimilant leur mode de fonctionnement à celui des transformateurs.

M. du Welz nous a décrit les détails de construction des belles dynamos que la Société Electricité et Hydraulique a spécialement étudiées pour la station centrale d'éclairage de Bruxelles.

Nous avons publié le résultat des recherches entreprises à la Cie Helios par notre camarade M. Nagtglas Versteeg sur les relations entre le voltage, l'intensité lumineuse, l'énergie absorbée et la résistance de lampes à incandescence de différentes provenances.

Deux membres temporaires, MM. Loewenstein et Cicogna nous ont rapporté d'un voyage aux Etats-Unis de nombreux renseignements sur les installations électriques américaines.

Digitized by Google

Enfin, j'ai eu l'honneur de vous décrire une installation d'éclairage de gare, telle qu'on les réalise à l'administration des chemins de fer belges, et vous ai fait part de quelques considérations sur la régulation des machines activant les dynamos.

***

Telle est, Messieurs, l'énumération succincte des travaux qui vous ont occupés pendant l'année écoulée. Nous espérons que dans l'avenir nos camarades continueront à nous réserver leurs travaux originaux, et qu'avec le concours des nouvelles promotions de l'institut Montefiore, l'importance de nos travaux croîtra en raison du nombre de nos collaborateurs.

M. **Francken,** *président* ouvre ensuite la série des travaux de l'exercice nouveau par l'adresse inaugurale suivante :

Messieurs et chers Camarades,

En acceptant l'an dernier les fonctions de vice-président de cette Association, je ne pensais guère m'exposer à l'honneur qui m'échoit aujourd'hui : j'avais compté sans la trop confiante amitié de collègues qui, au mépris de mes protestations les plus vives, n'ont pas craint de me recommander à vos suffrages. Trop dociles à ces conseils, vous m'avez tiré, Messieurs, du rang reculé qui était justement le mien parmi vous et d'où, bornant là toute mon ambition, je me plaisais à suivre vos beaux travaux et vos intéressantes discussions.

Sans doute en m'appelant à la présidence, vous avez voulu par ce choix insolite, rappeler que dans ses années de riche épanouissement comme aux jours de ses pénibles débuts, notre Société reste toujours et avant tout, selon l'heureuse expression d'un de mes prédécesseurs, une

Digitized by Google

Société de *confraternité*, où les fonctions doivent être considérées moins comme des récompenses ou des honneurs, que comme des devoirs à remplir et des charges à supporter à tour de rôle par chacun des membres.

C'est dans ces sentiments, Messieurs, que j'occuperai la place où votre choix m'a porté : je m'efforcerai d'y répondre par mon zèle et mon dévouement à ce que vous êtes en droit d'attendre de vos mandataires. Ma tâche sera d'ailleurs grandement facilitée par les exemples qu'ont laissés nos présidents sortis de charge et tout particulièrement notre président sortant.

Par son zèle infatigable, par son assiduité à nos séances, par la grande bienveillance avec laquelle il a conduit nos débats et que sa solide autorité lui rendait plus aisée, par la part si large qu'il a prise à tous nos travaux, le camarade de Bast a bien mérité de notre Association. Je suis heureux de pouvoir lui exprimer combien nous apprécions les services qu'il nous a rendus et je vous propose, Messieurs, de lui voter des remercîments. (*Applaudissements.*)

Comme le camarade de Bast et dans des fonctions plus ingrates peut être, le camarade L'Hoest a continué à nous donner l'exemple d'un dévouement et d'une persévérance, auxquels sont dûs, pour une grosse part, la vitalité et la renommée naissante de notre société. Il n'est que juste d'associer dans les mêmes applaudissements notre Secrétaire général et notre Président sortant. (*Applaudissements.*)

* * *

Messieurs,

Je me propose de vous entretenir pendant quelques instants de la théorie des unités, théorie dont les origines sont bien modestes, mais à laquelle les progrès de la physique et plus particulièrement de l'électricité ont assuré une fortune surprenante.

Il y a un siècle à peine, les unités semblaient encore naître et se développer peu ou prou, au hasard, en vraies

Digitized by Google

filles abandonnées, du caprice et de la vanité. Leur étude constituait tout au plus un art et la science n'en prenait aucun souci.

Aujourd'hui les lois les plus fondamentales de la philosophie naturelle président au choix des unités ; il n'est pas de nom de savant si illustre qu'on ne leur donne en partage et la métrologie semble devenir la pierre de touche des concepts physiques, de leur valeur, de leur étendue et de leur compatibilité.

Depuis la création par Gauss, en 1833, et par Wilhem Weber, en 1851, des premiers systèmes absolus d'unités (1), depuis que Fourrier a introduit en calorimétrie la notion de dimension (2) et que Maxwell en a vulgarisé l'usage en physique (3), des travaux aussi nombreux qu'importants n'ont pas cessé de paraitre sur les unités dérivées, leurs équations de dimension et les conséquences qui en découlent (4).

Peut-être essayerons-nous un jour de résumer ces études.

Aujourd'hui nous voulons nous borner à passer en revue les grandeurs qu'on a adoptées ou proposé d'adopter comme unités fondamentales.

I.

Sans conteste, la première place dans cette étude revient à l'unité de longueur, dont l'importance est toute excep-

(1) Gauss : Werke, t. V, p. 630 et suivantes.
Weber : Ueber die Principien verschiedener absoluter Maassysteme der Elektrodynamik.
Weber : Poggend. annalen LXXXII, p. 337.
Cités d'après Guillaume, Unités et étalons.
(2) Fourrier, Théorie analytique de la chaleur, Paris 1822, § 160.
(3) Maxwell, Traité d'électricité et de magnétisme, passim.
(4) On trouve des bibliographies du sujet dans Guillaume, Unités et étalons; Pionchon, introduction a l'étude des systèmes de mesures; Abraham, sur la théorie des dimensions, journal de physique, décemb. 1892.

Digitized by Google

tionnelle : c'est à des mesures de longueur que se ramènent finalement toutes les autres mesures, si on en excepte celles, parfois, d'intensité du son ou de la lumière : mais celles-ci méritent à peine d'être prises ici en considération; elles ne constituent guère que des estimations grossières.

Pendant longtemps l'unité de longueur, comme d'ailleurs tous les autres étalons, a été choisie arbitrairement et différemment dans chaque contrée, chaque province, chaque ville ou même chaque bourgade. Ce choix ne semblait soumis qu'aux exigences des vanités locales, des intérêts particuliers et de l'utilité pratique la plus immédiate. On se bornait à réclamer d'une unité qu'elle permit une comparaison facile et aussi exacte que possible avec les grandeurs qu'elle servait à mesurer.

Bientôt cependant le développement des transactions commerciales et les progrès des recherches scientifiques firent sentir l'impérieux besoin d'assurer l'uniformité et l'invariabilité des étalons les plus en usage. On fut ainsi tout naturellement conduit à les emprunter à des grandeurs ou à des phénomènes universels et invariables. De nombreuses tentatives dans ce sens ont été faites à toutes les époques et chez tous les peuples civilisés. La plus célèbre est la constitution du système métrique, votée par l'Assemblée constituante en 1790 et adoptée par la Convention nationale en 1799 (1).

Une idée, bien simple à première vue, a dû se présenter à l'esprit des savants chargés de cette grande œuvre. C'est l'adoption d'une barre prototype, de proportion commode, convenablement subdivisée, construite avec le plus grand soin et précieusement mise à l'abri de toute cause de détérioration.

On peut se demander, il est vrai, si une telle barre

(1) Base du système métrique décimal, par MM. Mechain et Delambre (suite des mémoires de l'Institut), Paris 1806.

Digitized by Google

présenterait une longueur absolument immuable ou si, au contraire, sous les influences des variations de température, des tensions moléculaires et des réactions élastiques, elle ne subirait pas de légères déformations permanentes. Le contrôle minutieux des thermomètres de précision et du déplacement de leur zéro accuse des perturbations de l'espèce (1). En pareil cas, on serait dépourvu de tout moyen de vérification. Peut-être la réunion d'une série d'étalons jumeaux, fabriqués avec des matières de natures très différentes et tarés avec la plus grande exactitude, constituerait-elle un palliatif, sans cependant écarter la difficulté et même en en créant de nouvelles.

Les fondateurs du système métrique ne s'arrêtèrent pas à cette solution élémentaire. Préoccupés avant tout de n'éveiller aucune susceptibilité nationale, soucieux d'écarter de leur œuvre les dangers qui, quoiqu'on fasse menacent toute construction faite de main d'homme, entrainés peut-être par l'esprit et le style pompeux de l'époque ou par des intérêts scientifiques étrangers à la métrologie, ils voulurent asseoir leur monument sur une base autrement large et véritablement universelle. Ils décidèrent qu'à l'avenir, la terre elle-même servirait à ses habitants d'étalon prototype de longueur. La mesure du quart d'un méridien, celui passant par Dunquerke et Barcelone, fut entreprise. Cette grande œuvre, poursuivie à travers tant de périls et de difficultés inouies, en utilisant toutes les ressources de la science, exigea dix années de labeur.

La règle en platine, appelée *mètre*, c'est-à-dire mesure par excellence, et qui devait représenter à o° C la dix millionième partie du quart du méridien réduit au niveau des mers, fut déposée aux archives le 4 Messidor an VII.

Au fond, l'entreprise de la convention était plus brillante que raisonnable.

(1) Guillaume, études thermométriques, P. 1886.
Id. Les idées modernes sur la thermométrie, Revue générale des sciences, 15 février 1891.

Digitized by Google

On rapporte que Mechain, avait déjà découvert une erreur dans ses propres calculs. Il ne crut pas devoir la révéler, craignant sans doute, dit Monferrier, de compromettre tout le travail du méridien. (1)

De nos jours, en se basant sur la mesure des arcs Russo-Suedois, Anglo-Français, des Indes, du Pérou, du Cap et en y joignant un arc de parallèle relevé aux Indes, M. Clarke estime à 10,001,877 mètres la distance du pôle à l'équateur D'autre part, M. Faye, en négligeant l'arc de parallèle des Indes, mais en tenant compte pour ses calculs des arcs de méridien de la Prusse, du Danemark et de Hanovre, aboutit à 10,002,008 mètres. (2)

Ces chiffres prouvent que le mètre des archives est trop court de 0,2 de m. m. environ, ce qui constitue une erreur relative de deux dix-millièmes, et ils établissent en même temps que la longueur du quart du méridien ne nous est guère connue qu'avec une approximation d'un cent millième. Pour mieux préciser la portée de ces nombres, notons que d'après les déterminations métrologiques modernes il est possible d'atteindre dans la mesure des longueurs une précision de l'ordre du $^1/_{10}$ de micromètre (3) et ajoutons que l'industrie elle-même commence à utiliser des jauges calibrées au $\frac{1}{1000}$ de m.m. (4)

Comme on le voit, l'écart entre le mètre des archives et le quart de la dix millionième partie d'un méridien, c'est à-dire entre l'étalon prototype et l'étalon fondamental de longueur restait bien en arrière du seuil des distances perceptibles par nos moyens actuels d'observation.

---

(1) Monferrier, Dictionnaire des sciences mathématiques, tome II, p. 229.

(2) Annuaire du bureau des longitudes, 1893, page 177.

(3) Benoit, Rapport présenté par la Commission internationale des poids et mesures, 1889.

(4) Instruments vérificateurs de haute précision mesurant au $\frac{1}{100}$ et $\frac{1}{1000}$ de m. m. toutes les dimensions intérieures et extérieures depuis 0^m jusque 2^m. — Barriquant et fils, Paris 1889.

Digitized by Google

Il a donc fallu porter remède à cet état des choses. Deux solutions étaient en présence. L'une, changer le mètre prototype pour en accroître la longueur des 0,2 de m.m. environ qui lui manquent: c'était se condamner à répéter cette opération périodiquement, jeter le trouble à intervalle de temps fixe dans tous les travaux scientifiques et perdre ainsi tout le bénéfice de l'unification ; l'autre, abandonner la définition théorique du mètre et élever la règle des archives au rang d'étalon fondamental: c'était renoncer aux prétentions du siècle dernier et en revenir au choix plus modeste d'une longueur arbitraire, agréée de commun accord.

Ce second parti a été unanimment adopté par la Commission internationnale du mètre, réunie à Paris en 1870. (1)

La Commission décida de reproduire le mètre des archives aussi fidèlement que possible, en substituant toutefois à la règle à bouts une règle à traits.

Cette nouvelle règle est en forme d'X ; elle a été calculée par M. Tresca de façon à présenter son tracé sur le plan des fibres neutres, à offrir une grande rigidité sous une faible masse et à posséder une section d'épaisseur partout uniforme. Pour sa confection, sur les indications de M. H. Sainte-Claire Deville on a fait usage de platine iridié à 10 %: cet alliage jouit d'une grande dureté, d'une inaltérabilité absolue et son point de fusibilité est fort élevé. Ce nouvel étalon prototype du système métrique international a été légalisé le 26 septembre 1889. Il est déposé au Bureau international des Poids et Mesures et il reste la propriété commune des vingt-un Etats signataires de la convention du mètre, qui presque tous, en ont une ou plusieurs copies (2).

Le choix d'une pareille barre comme étalon, nous l'avons déjà dit, n'est qu'un pis-aller et rien n'assure qu'il constitue

(1) Faye, Cours d'astronomie de l'école polytechnique, P. 1881, tome I, page 313.

(2) Guillaume, Unités et étalons, p. 60.

Digitized by Google

une unité de longueur complètement immuable. Mais à cet égard, les garanties offertes par le système du méridien n'étaient guère plus solides : nous aurons bientôt l'occasion de revenir sur ce point.

Une autre solution, plus simple que la mesure d'un méridien, avait été préconisée en 1790 par Buffon (1), présentée à l'Assemblée constituante par M. de Talleyrand et sanctionnée par le Roi. Il s'agissait de prendre comme unité de longueur la hauteur du pendule simple qui, sous la latitude de 45°, bat les secondes. Ce projet fut ajourné par suite du mauvais vouloir de l'Angleterre, qui avait été invitée à collaborer à sa réalisation. Il fut ensuite complètement abandonné et sacrifié au système du méridien (2).

Nous verrons bientôt, en parlant de l'unité de temps, qu'il n'y a pas lieu de beaucoup regretter cet abandon.

Maxwell, dans son célèbre traité d'électricité et de magnétisme, a, lui aussi, appelé l'attention sur une voie que son génie devinait devoir se montrer praticable et féconde, bien qu'elle fut alors à peine tracée. Nous faisons allusion à la détermination de la longueur d'onde qui, dans le vide et à la pression normale, correspond à telle ou telle raie du spectre bien déterminée (3). Une pareille longueur est, selon toutes les probabilités, une des quantités les plus fixes de la nature. Cependant, ici encore, des réserves s'imposent : on ignore si l'éther reste identique à lui-même dans le temps et dans l'espace (4) ; si, dans le spectre, à des raies irréductibles jusqu'aujourd'hui correspondent des corps simples et même si

(1) La mesure du metre, par de Fonvielle, P. 1886, p. 14.
(2) Base du système métr , I, p. 14.
(3) Maxwell, loc. cit., traduction française, I, p. 3.
Michelson. Revue génér. des sciences, 30 juin 1893.
(4) Brillouin, Conférences scientifiques et allocutions de Sir W. Thomson, I, 80.

Digitized by Google

l'existence de pareils corps est réelle (1). Peut-être nos corps prétendûment simples ne sont-ils que des états transitoires d'une substance en évolution permanente. M. Crookes semble avoir donné, en faveur de cette hypothèse, des arguments d'un certain poids.

La réalisation de l'idée de Maxwell n'en était pas moins d'un intérêt capital. Les théories de l'optique devaient en retirer des matériaux précieux et la métrologie un étalon susceptible, sans doute, d'être mesuré avec plus de précision et moins de peine que ne peut l'être un méridien.

Longtemps la solution de ce problème a été considérée comme inabordable par suite du défaut d'appropriation des instruments et de la complexité réelle des radiations qui paraissaient simples et homogènes.

C'est à M. Alb. Michelson que la science est redevable d'avoir triomphé de ces obstacles (2).

L'ingénieux professeur de l'Université de Chicago, en se servant d'un réfractomètre interférentiel de son invention, a pu découvrir que la raie rouge de l'hydrogène est double, qu'il en est de même de chacune des deux raies jaunes du sodium, que la raie verte du thallium est quadruple, que celle du mercure est composée de 5 ou 6 raies élémentaires et ainsi de la plupart des autres.

Le cadmium cependant donne trois raies très-pures, l'une rouge, une autre verte et la dernière bleue, qui, avec une différence de marche de 10 cent., laissent apercevoir des franges d'interférence encore très nettes. C'est grâce à cette circonstance que M. Michelson a pu déterminer, avec une extrême précision, la longueur d'onde de ces radiations.

Il commence par comparer une série de dix barettes, terminées par de petits miroirs plans et dont la première a 1^{m} de longueur ; la seconde, $10^{c.m.}$; la troisième, $5^{c.m.}$;

(1) Crookes, la genèse des éléments, P. 1887.
» Eléments et méta éléments, P. 1888.
(2) Michelson, loc. cit.

Digitized by Google

la quatrième, $2^{c.m.},5$ et ainsi de suite jusque la dixième qui ne compte plus que $0,39^{mm}$. Il est entendu que toutes ces comparaisons se font à l'appareil interférentiel : le contact optique, qu'on serait tenté de dire absolu, des miroirs terminaux avec un plan fictif de repère, ce contact s'accuse par de larges bandes d'interférence.

Ceci fait, il reste à compter les ondes qui recouvrent la longueur du plus petit étalon. M. Michelson en a observé pour la raie rouge du cadmium 1212, plus une fraction dont il parvient à tenir compte.

Les deux séries d'observations exécutées par l'auteur, au Bureau international des Poids et Mesures, ne sont pas encore entièrement réduites ; elles donnent les résultats provisoires suivants :

1re série. 1^m = 1553163.6 λ de la raie rouge.
2e série. 1^m = 1553164.6 λ »
Différence : 1 λ.

L'erreur à craindre ne dépassera pas, affirme-t-on, une longueur d'onde. Par conséquent l'erreur relative restera inférieure aux deux tiers d'un millionième.

M. Mascart, en présentant le travail du savant américain à la Société de physique, en a fait le plus grand éloge : l'ensemble de ces recherches, a-t-il dit, constitue un véritable monument scientifique (1).

II.

La seconde unité fondamentale est l'unité de temps. On a choisi pour unité de l'espèce la durée du jour solaire moyen ou une de ses subdivisions, la seconde sexagésimale par exemple (2) et on a cru en trouver un étalon naturel

(1) Bulletin bi-mensuel de la société franç. de phys.— Résumé des communications faites dans la séance du 5 mai 1893.
(2) Annuaire du Bur. des longit. Paris 1893, p. 635.

Digitized by Google

dans notre globe terrestre, considéré en tant qu'animé d'un mouvement uniforme de rotation. (1)

On l'a fait observer, la rotation de la terre constitue à proprement parler, non pas un étalon de temps, mais un étalon de vitesse angulaire ; le temps n'est pas susceptible de fournir une norme concrète car il est, dans l'univers physique, ce qu'il y a de plus fugitif et on ne saurait pas en fixer matériellement la moindre portion.

L'observation est juste ; mais la distinction nous paraît subtile. A ce compte là, il conviendrait aussi bien de dire que le mètre des archives n'est pas un étalon de longueur, mais un étalon de volume ou de masse. Nous ne nous arrêterons donc pas à cette nuance et nous aborderons une difficulté de principe bien autrement grave.

Le caractère primordial et essentiel d'un étalon est d'être constant, immuable, ou bien s'il varie, de varier suivant une loi précise et parfaitement connue.

Nous aurions donc à rechercher si la durée du jour satisfait rigoureusement à ces exigences. Or, on prouve que cette recherche est inabordable pour la science, que la tenter est chose aussi oiseuse que de poursuivre la quadrature du cercle.

Rankine, le premier pensons-nous, en a fait l'observation en 1867. (2) Sa thèse a été admise dès 1874 par Stanley Jevons (3) et elle a été reprise en 1885, dans son étude critique sur la mécanique, par M. Calinon, (4) dont les travaux si profonds et si suggestifs sur la philosophie des sciences font aujourd'hui autorité. Ajoutons encore que M. Jules Tannery, l'éminent directeur de l'école normale

(1) La substitution du temps solaire moyen au temps vrai ne remonte en France qu'à une ordonnance royale de 1820. (Faye, loc. cit. II, 57).

(2) Rankine, Philosophical magazine, févr. 1867, p. 91.

(3) St. Jevons, The principles of science, 2de édit. London 1892, p. 307.

(4) Calinon, Etude critique sur la mécanique, Nancy 1885.

Digitized by Google

supérieure, en rendant compte dans le journal de Darboux de l'Etude critique sur la mécanique, a donné aux idées de l'auteur le précieux appui de son approbation. (1)

Nous espérons que ces témoignages suffiront à écarter la répugnance naturellement soulevée, au prime abord, par une proposition étrange et qui heurte violemment les idées reçues. La démonstration en est d'ailleurs facile et nous paraît péremptoire.

Pour constater l'uniformité d'un mouvement, il est indispensable de pouvoir mesurer deux durées égales. Or, que devons-nous entendre par ces mots, deux durées égales ? ce sont deux temps, remplis par des phénomènes identiques. Pour plus de clarté, nous nous bornerons à envisager des phénomènes d'ordre purement mécanique. Dans ce cas leur identité se réduit à celle de leurs conditions cinématiques et dynamiques, l'identité des vitesses, des accélérations, des forces, etc.

Mais comment constater l'identité de ces conditions ? celle des vitesses et des accélérations tout d'abord ? Pour vérifier l'égalité de vitesse de deux mobiles, dont les déplacements n'ont pas lieu à la fois, il faut disposer de durées successives données en tant qu'égales. Mais c'est précisément l'existence de pareilles durées qui est en question et il s'agit d'en vérifier une première. Le cercle dans lequel on tourne est donc vicieux.

Il en va des accélérations comme des vitesses et la constatation de l'égalité des forces, elle, butte contre une autre contradiction. Puisqu'il ne s'agit pas de forces simultanées, la statique dans l'occurence n'est d'aucun aide et, quant à la dynamique, son témoignage est déclaré caduque parce qu'elle découle tout entière du principe d'inertie et que celui-ci implique les notions de mouvement uniforme et par suite de temps égaux.

Précisons encore cette argumentation par un exemple

(1) Bulletin des sciences mathématiques, décembre 1886.

Digitized by Google

qui lui servira d'illustration. Supposons qu'on veuille prouver que le mouvement de la terre, par rapport au système des étoiles, est uniforme. Que fera-t-on ? On notera les trajectoires apparentes d'une étoile et de l'aiguille d'un chronomètre : mais, au cas où la rotation de la terre ne serait pas constante, le balancier du chronomètre ne pourrait plus être considéré comme animé d'un mouvement uniforme, puisque les conditions de son mouvement ne resteraient plus, comme le demande la définition, identiques à elles mêmes.

En résumé, il est complètement impossible de déterminer l'égalité de plusieurs temps et nous en sommes réduits à considérer comme égaux les temps qui correspondent simultanément à plusieurs séries de phénomènes déterminés par des conditions identiques *en apparence.*

Passant outre à cette difficulté, revenons en à l'étalon de durée ou, si on préfère, de vitesse angulaire, la terre considérée comme un mobile en rotation autour d'un de ses axes.

Pendant longtemps on a pensé qu'il ne serait jamais possible de constater la moindre inégalité dans le mouvement diurne de notre globe. Poisson croyait avoir démontré (1) que la concordance des calculs de Laplace avec la tradition d'une éclipse observée par les anciens habitants de la Chaldée, était incompatible avec l'hypothèse d'une variation, dans la durée du jour sidéral, fut-ce en 2500 ans, de un dix-millionième de sa valeur seulement. Cette prétention a été démentie par les progrès de l'astronomie. Aujourd'hui les savants sont d'accord pour admettre que la dnrée du jour subit un accroissement séculaire de 6″ environ. (2) La mécanique permet d'ailleurs d'expliquer ce phénomène, qualitativement tout au moins. Deux causes principales agissent pour modifier la vitesse de rotation de la terre.

(1) Cité d'après Stanley Jevons, loc. citat. p. 310.

(2) Wolf, Les hypothèses cosmogoniques, Paris 1886, p. 75 et suivantes.

Digitized by Google

La première est accélératrice : c'est la contraction provoquée par son refroidissement incessant et la dissipation de sa chaleur interne à travers les espaces célestes.

La seconde cause, celle-ci retardatrice, est l'action des marées, qui jouent vis-à-vis de la terre le rôle d'un immense frein à lame. Cette théorie mise en avant par Kant, rejetée par Laplace et reprise en 1864 par M. Delaunay, a été l'objet de travaux et de discussions du plus haut intérêt de la part de MM. Bertrand, W. Thomson, Darwin, et d'autres savants.

Sir W. Thomson a signalé encore d'autres influences perturbatrices de la régularité des jours : la chute incessante des poussières météoriques et l'action des marées produite dans notre atmosphère par l'oscillation diurne de la température. (1)

En résumé, la terre ne peut pas être considérée comme un chronomètre immuable et nous devons ajouter que les perturbations qui affectent sa marche ne nous sont pas encore suffisamment connues pour qu'on puisse en fixer l'équation.

Le mouvement de translation de la terre autour du soleil et aussi les mouvements des autres astres sont sujets à des irrégularités de la même espèce.

Quant au pendule, comme instrument de grande précision, il est sans valeur aucune : le poids est sujet à la corrosion ; le point de suspension ne peut pas être rendu absolument fixe ; les frottements ne résistent pas complètement à l'usure ; les huiles vieillissent ; la pesanteur accuse des variations encore mal connues (2) : ce sont là autant de sources abondantes d'erreurs.

(1) Sir W. Thomson, Accélérations thermodynamiques du mouvement de rotation de la terre. — Séances de la Société française de physique, année 1881, p. 200.

(2) Lippmann, Sur une unité de temps absolue, Compte-rendu de l'Ac. des Sc. de Paris, CIV, p. 1070.

Digitized by Google

MM. W. Thomson et Tait ont proposé de recourir à quelqne propriété physique d'un corps présentant des caractères bien constants ; par exemple à l'élasticité d'un ressort métallique. Cette pièce serait travaillée avec les plus grands soins et elle serait conservée précieusement, à l'abri de toute influence extérieure. (1)

Mais ces conditions de fabrication et de conservation sont purement idéales et il serait bien à craindre que, malgré tout, après un travail aussi énergique que celui requis pour la confection d'un ressort, le métal ne se trouvât dans un état d'équilibre moléculaire instable, dont il tendrait à s'éloigner indéfiniment ?

Maxwell signale comme étalon de durée, d'un caractère plus universel, la période de vibration de la lumière émise par un corps largement répandu dans la nature et dont le spectre renfermerait des lignes bien nettes. (2)

Cette idée est le complément naturel de celle que son auteur avait émise au sujet de l'étalon de longueur et qui, comme nous l'avons vu, vient d'être si heureusement réalisée par M. Michelson.

Nous aurons achevé ce que nous avions à dire del'unité de temps quand nous aurons rappelé que M. Lippmann, partant du fait que la dimension d'une résistance spécifique, dans le système électrostatique d'unités, est un temps, a montré que la réunion d'une résistance et d'une capacité électriques peuvent constituer un étalon de durée d'une très grande précision (3).

III.

Les notions d'espace et de temps, dont nous venons de nous occuper, peuvent être considérées comme des formes essentielles de la pensée, qui seraient innées en nous, ou

(1) The Elements of Natural Philosophy, part. I, p. 119.
(2) Maxwell, loc. cit. p. 3.
(3) Lippmann, loc. ci.

Digitized by Google

bien dont nous serions redevables aux expériences irréfléchies de notre premier âge — peu importe. Elles nous apparaissent avec un degré d'évidence et de nécessité qui les met au premier rang des concepts appelés à former l'édifice de nos représentations. Après ces notions premières, vient tout de suite celle de la force, qui est, elle aussi, directement donnée à la conscience sous forme du sentiment de l'effort. On se rappelle la célèbre allocution de 1883, à l'Institut de Birmingham et du Midland, où Sir W. Thomson a parlé, avec une si grande hauteur de vue, des six portes de la connaissance. La sixième de ces portes était le sens de l'effort (1). Bien que souvent méconnue, elle est cependant la plus importante en ce sens que, si par les autres nous prenons conscience des phénomènes extérieurs, par elle et par elle seulement ces phénomènes nous apparaissent en tant qu'étrangers à nous-mêmes.

Mais je m'égare, Messieurs. Je voulais simplement indiquer, qu'au point de vue de la logique, la notion de force est antérieure au concept de masse.

L'étalon de force le plus communément admis est le kilogramme ou une de ses subdivisions décimales. La définition théorique du kilogramme, telle qu'elle avait été donnée par les fondateurs du système métrique, est la force fictive, résultant, à Paris, de l'attraction et des réactions terrestres d'inertie qui sollicitent un décimètre cube d'eau prise à son maximum de densité et à la pression normale (2).

La réalisation de cet étalon se heurte à des difficultés considérables. Aussi fallait-il s'attendre à ce que le prototype du kilogramme déposé aux archives avec le mètre étalon partageât le sort de celui-ci et cessât bientôt de répondre à sa définition primitive. C'est ce qui a eu lieu. Les travaux de Lefèvre-Gineau et Haüy attribuaient à l'eau l'unité comme densité. M. Broch a soumis ces

(1) Confér. scient. et alloc. de Sir W. Thomson (Lord Kelvin), P. 1893, . 192.

(2) Bour, Cours de mécanique, tome III, p. 50.

Digitized by Google

déterminations à un examen critique très approfondi qui a révélé une erreur relative d'environ 0,0001 (1). Plus tard, M. Benoit a montré qu'on ne peut pas garder confiance dans l'exactitude des règles qui ont été employées pour mesurer les longueurs et que de ce fait résulte un nouvelle erreur à craindre de 0,0001 (2). Mais on ignore si celle-ci est de même sens que la première ou de sens contraire. En sorte que l'étalon des archives est trop lourd d'une quantité qui peut varier d'une fraction de milligramme jusqu'à deux décigrammes.

Néanmoins, de crainte de compromettre tout l'immense édifice des déterminations de poids exécutées jusqu'à ce jour, on est convenu de conserver au kilogramme des archives sa valeur conventionnelle d'étalon et on a renoncé, du même coup, à considérer la densité de l'eau comme densité unitaire.

D'après des mesures nouvelles, exécutées entre 1830 et 1840 par Kupffer en Russie, et d'autres, toutes récentes, faites par Chaney en Angleterre (3), la densité de l'eau à 4° c. serait 0.999971 ou 0.999807. Ces chiffres diffèrent encore entre eux de plus de 0.0001. C'est énorme relativement au degré de précision atteint aujourd'hui dans les pesées. Sans grande peine des poids de un kilogramme peuvent être comparés à un millionième près et, dans les comparaisons de premier ordre entre les kilogrammes étalons, on a pu pousser l'approximation jusqu'à quelques milliardièmes (4), c'est-à-dire jusqu'à une valeur 10,000 fois plus satisfaisante que celle obtenue dans la réalisation du prototype théorique.

On a donc été amené à abandonner la définition primitive de l'étalon de force et à considérer comme unité fondamentale de l'espèce le poids, à Paris, du bloc de platine déposé aux archives.

(1) Guillaume, loc. cit.. p. 103.
(2) » » »
(3) » » p. 104 et suivantes.
(4) Guillaume, loc. cit., p. 43.

Digitized by Google

On se demandera sans doute si ce poids constitue une force absolument constante.

Nous manquons jusqu'à ce jour d'observations suffisamment rigoureuses, délicates et prolongées pour trancher cette question. Mais les doutes à cet égard sont certes légitimes, si on songe que vraisemblablement les dimensions du globe terrestre ne sont pas constantes (1) ; que la distribution des grandes masses, comme celle des océans, n'y est pas invariable (2) ; que la solidification de la croûte superficielle n'est pas uniforme (3), que nous ne savons rien des conditions d'équilibre du noyau central et qu'enfin nous ignorons le mécanisme intime de la gravitation. L'action de cette force universelle n'est-elle pas dépendante de quelque milieu de propagation ? dans l'affirmative, ce milieu reste-t-il invariable ou bien est-il influencé par la vitesse de translation de la terre à travers l'espace, par les phénomènes électro-magnétiques dont notre soleil est le théâtre (4) ou par tout autres causes que nous ne soupçonnons même pas ? La réponse à ces difficiles questions reste le secret de l'avenir.

Cependant, grâce à des observations exécutées par M. Mascart à l'aide d'un baromètre à enregistrement photographique, on sait déjà que la gravité accuse des variations brusques en un même point du globe (5).

M. d'Abbadie a aussi fait connaître à l'Académie des Sciences de Paris que des expériences, commencées par lui dès 1837, mettent en évidence des irrégularités dans l'intensité de la pesanteur (6).

(1) Mallet, Proceedings of the royal Society, juin 1872.

(2) Badoureau, Les sciences expérimentales, p. 228. — Ducarne, essai d'une géographie physique, Brux. 1886, p. 178.

(3) Faye. loc. cit. I. p. 303.

(4) Gariel, Revue annuelle de physique dans la Revue générale des sciences, I. 1890, p. 307. — C. Stas, Bull. ac. roy. de Belgique, séance publique du 16 décembre 1890.

(5) Comptes-rendus, Ac. des Sc. 30-1-1893.

(6) Idem 6-2-1893.

Digitized by Google

IV.

La quatrième unité fondamentale est l'unité de masse.

Suivant Newton la masse d'un corps est la quantité de matière qu'il renferme (1).

Mais cette définition, comme le fait remarquer M. Guillaume, n'a aucun sens précis tant que la matière elle-même n'a pas été définie (2).

Et en effet, la matière n'est pas, comme l'espace ou le temps, une forme fondamentale de la pensée qui peut se passer de définitions; ce n'est pas non plus une notion, comme celle de la force, dont nous avons la perception immédiate ; la matière n'est rien de pareil ; c'est un pur concept, créé pour les besoins des théories de la connaissance et qui varie avec ces théories elles-mêmes.

Suivant les idées les plus courantes, le sentiment de l'effort, en nous révélant des résistances indépendantes de notre volonté, nous ferait connaître par là même, l'existence d'un substratum nécessaire au développement de ces résistances (3). Ce substratum, cette substance, ce serait la matière. Une fois inventée, on la dote de propriétés diverses, comme l'impénétrabilité et l'inertie ; on se la figure même sous forme d'atomes étendus, absolument durs, sphériques ou crochus, ou bien encore sous forme d'un tout continu affecté différemment dans ses diverses parties. Elle devient le postulat fondamental de la physique. Il y a lieu dès lors d'en choisir une unité et de la fixer à l'aide d'un étalon. A cet effet, on a utilisé le même bloc de platine qui, déposé aux Archives, représente déjà l'unité de force.

Mais ce n'est là qu'une façon de considérer les choses, légitime sans doute, mais non pas nécessaire et à laquelle on en oppose d'autres également arbitraires en même temps qu'également justifiées.

(1) Philosophiæ naturalis principia mathematica, a ct. Isaaco Newton Amst. 1723, p. 1.

(2) Guillaume, Unités et étalons, p. 18.

(3) Dauriac, des notions de matières et de force des sciences de la nature, P. 1878, p. 290 et suivantes.

Digitized by Google

Déjà Lamé. en écrivant que la masse d'un corps est son cœfficient de résistance au mouvement ou à la modification du mouvement (2), entendait sans doute appeler l'attention sur ce que, en mécanique tout au moins, le rôle principal de la matière est celui d'une force opposée aux variations du mouvement.

Mais, à ce compte, de quoi sert encore le substratum de la force, la matière entendue au sens vulgaire ? Si son rôle s'efface, son concept devient superflu. C'est ce que au milieu du XVIII[e] siècle avait compris le jésuite Boscovich (2). Il refusait aux atomes toute espèce d'étendue et les considérait comme de simples points d'application des forces.

Cette conception dynamique de la nature, dérivée très probablement de la monadologie de Leibniz (3), a été accueillie et défendue par de nombreux penseurs, par des philosophes de toutes les écoles comme Cousin, Maine, de Biran, de Tracy, Dugald Stewart et Fechner; par des géomètres et des physiciens, comme Ampère et Faraday, Cauchy, de St-Venant (4) et Boussinesq (5). Elle est aujourd'hui entrée dans l'enseignement classique de la mécanique et a servi de fondement aux cours professés à l'Ecole centrale des arts et manufactures par M. Maurice Levy (6) d'abord et par M. Flamant ensuite (7).

Dans cet ordre d'idée la masse absolue d'un corps n'est plus qu'un nombre abstrait, le nombre des centres de force qui le constituent et sa masse relative est un autre nombre abstrait, le rapport du nombre de ses centres de force au

(1) Cité d'après Sarrau, cours de mécanique à l'école polytechnique, 2[e] divis., 1892-1893, p. 105.

(2) Cité d'après de St-Venant, de la constitution des atomes, Ann. de la Soc. scient de Brux., tome II, 1878.

(3) Idem, p. 419.

(4) Idem, supplément p. 2et 3, et Lange, histoire du matérialisme, II, 205.

(5) Boussinesq, Leçons synthetiques de mécanique générale, P. 1889, p. 5.

(6) Génie civil, 1887-1888, p. 398

(7) Flamant, Mécanique générale, P. 1888. — Cf. Lechalas, mécan. génér. de M. Flamant, critique philosoph., 30 juin 1888.

Digitized by Google

nombre des centres d'un autre corps choisi comme point de repère (1).

Dans une étude, très savante et pleine de vues ingénieuses, sur la mécanique des phénomènes naturels, les lois physiques et les systèmes absolus d'unité (2), M. Clavenad, le très distingué directeur des travaux de la ville de Lyon, aboutit à une conception de la masse pleine d'originalité. L'auteur distingue la masse, considérée en tant que quantité de matière et qui, selon lui, serait purement passive et indifférente à l'action des forces, et la masse astronomique, qui répond de la définition de Lamé et est assimilable à une sorte de cœfficient de frottement. Cette dernière masse est la seule qui intervienne dans les lois de la dynamique et de la mécanique céleste. La résistance au mouvement qui en l'essence, ne peut pas être inhérente, suivant M. Clavenad, au mobile lui-même; elle lui est opposée et de toute nécessité elle est l'attribut du milieu où se produit le mouvement. En outre une résistance au mouvement ne pouvant naître que d'un autre mouvement, on est amené à définir la masse par « la quantité de mouvement stationnaire ou effectif du milieu. » Cette quantité de mouvement du milieu dépendrait uniquement, d'après l'auteur, de l'amplitude de ses vibrations et par conséquent la notion de masse serait ramenée à celle d'une longueur.

Dans l'hypothèse de Boscovitch, la masse n'admet plus d'étalon ; dans celle de M. Clavenad, son étalon est le mètre et nous savons à quelles critiques celui-ci est exposé.

V.

La dernière unité fondamentale, qu'il nous reste à envisager, est l'unité d'énergie.

C'est dans le courant de l'année dernière que le professeur Ostwald a proposé d'élever l'énergie du rang

(1) de St-Venant, Principes de mécanique fondés sur la cinématique, P.
(2) p. 64. 1851, Génie civil, XIX, 1891, passiom, et sq.

Digitized by Google

d'unité dérivée à celui d'unité fondamentale (1). A l'appui de son projet M. Ostwald fait valoir le rôle important et universel qui est réservé, dans tous les domaines des sciences physiques, au concept d'énergie. Partout ce concept intervient, en chimie autant qu'en physique, qu'en mécanique ou en thermodynamique; dans l'acoustique et l'optique aussi bien qu'en électricité et en capillarité. Il constitue le lien le plus étroit entre toutes les quantités mesurables de ces domaines multiples.

Et qu'on n'objecte pas à l'éminent savant que l'énergie n'est pas une substance comme la matière, qu'elle n'a pas de réalité objective, que ce n'est qu'une pure fonction analytique, un produit de la pensée spéculative. Il répondrait que « jadis lui aussi il a été l'esclave des représentations habituelles de la matière et qu'il osait à peine assigner à l'énergie une petite place, comme entité, à côté de la masse; mais que depuis lors, ses recherches sur les propriétés et l'essence de l'énergie l'ont converti et, qu'aujourd'hui, il est convaincu de ce que la matière a moins de réalité qu'elle; de ce que c'est la matière qui se réduit à un complexe de facteurs de l'énergie, facteurs qui se trouvent être tous proportionnels entre eux. »

Et d'autres de renchérir et d'ajouter que le principe de la conservation de l'énergie fournit la preuve manifeste de la réalité de son existance.

La thèse du professeur Ostwalt a été accueillie avec faveur, comme elle le méritait; elle a aussi donné lieu à diverses objections, que nous devons exposer.

Tout d'abord l'argument en faveur de la substantialité de l'énergie, qu'on prétend tirer de sa conservation, ne semble guère probant: à côté du principe de Mayer sur la conservation de l'énergie, on peut placer celui

(1) Studien zur Energetik, Zeitschrift für physikalische chemie, 1892, tomes IX et X.

Industrie électr., 10 juillet 1892,

Digitized by Google

de M. Lippmann sur la conservation de la quantité d'électricité (1) : faudra-t-il en conclure que cette dernière quantité n'est pas une forme de la matière ou de l'éther, mais qu'elle aussi est une substance en soi ? Nous ne le pensons pas.

Au surplus est-on bien sûr que le principe de la conservation de l'énergie soit aussi universel qu'on paraît le croire ou qu'on veut bien le dire? C'est peut être l'occasion de rappeler qu'en mécanique rationnelle, il n'est démontré que pour le cas des systèmes soumis aux seules actions de forces centrales (2) et qu'en thermodynamique on ne l'étend, avec preuve à l'appui, qu'aux phénomènes réversibles (3). On peut dire, il est vrai, que le principe de la conservation de l'énergie s'impose dans une explication purement mécaniste de l'univers et, au gré d'une école qui a été particulièrement puissante durant notre siècle, une pareille explication est la seule dont la science puisse s'accomoder. Mais dans ce cas, ce serait tant pis pour la science, car une telle conception, pour séduisante qu'elle soit, n'a pas encore reçu la sanction du succès et on démontre même qu'elle bute contre des obstacles qu'il serait bien malaisé, sinon impossible, d'écarter. Il y a peu de jours, dans un de ces articles sensationnels comme il en a déjà écrit plusieurs pour les brillantes préfaces de ses cours, un des maîtres les plus savants et les plus écoutés de la faculté des sciences de Paris, M. Poincaré, a montré que toute théorie mécaniste de l'univers est inconciliable avec l'existence des phénomènes non réversibles (4).

Mais laissons la question de savoir si l'énergie est un être de raison ou une entité physique et voyons, si tout au moins, elle est susceptible d'admettre un étalon précis.

Sous forme mécanique, elle ne peut pas être fixée.

(1) Annales de chimie et de physique, 9e série, t. XXIV, p. 45.
(2) Bertrand, Thermodynamique, Paris 1887, p. VII.
(3) Poincaré, Thermodynamique, Paris 1892, p. VIII.
(4) Revue de métaphysique et de morale, Nov. 1893.

Digitized by Google

La détermination de son étalon ne pourrait donc être qu'indirecte sous cette forme ; il faudrait faire appel à des longueurs et des forces, ou bien à des masses, des longueurs et des temps : ce serait accumuler les incertitudes inhérentes à chacun de ces éléments.

Ses formes calorifiques ou électriques présentent le même inconvénient capital.

Seule la forme vibratoire de l'énergie pourra peut être dans l'avenir se prêter à l'adoption d'un étalon. Mais encore une fois il est à craindre que ces mouvements imperceptibles, qui nous apparaissent aujourd'hui d'une uniformité absolue, ne nous révèlent, quand nous saurons en mesurer tous les facteurs, des perturbations plus nombreuses peut-être et relativement plus considérables que celles qui affectent nos planètes et leurs orbites.

***

Au terme de cette trop longue revue, nous voudrions enfin en dégager les points principaux et en tirer les conséquences.

Aucun des étalons, à l'aide desquels on a jusqu'aujourd'hui fixé les unités fondamentales, ne présente des garanties de permanence, je ne veux pas dire absolue, mais seulement suffisantes vis-à-vis de nos procédés actuels d'observation.

Au point de vue pratique, cette constatation n'a évidemment rien d'alarmant : les progrès incessants et de jour en jour plus rapides des arts et des sciences appliquées prouvent, en dépit de tous les raisonnements qu'on serait tenté de faire, que leur marche n'est nullement entravée par les petites perturbations, que nous avons essayé de mettre en évidence.

Celles-ci n'ébranlent pas davantage la science pure. La science est faite de lois physiques, qui sont, non pas des relations logiques entre grandeurs d'espèces diffé-

Digitized by Google

rentes, comme on le dit parfois, mais des relations analytiques entre les rapports numériques de grandeurs corrélatives, et ces rapports sont évidemment indépendants des variations lentes des étalons. Seules des variations brusques et persistantes comme nous n'en avons heureusement pas rencontrées pour raient les affecter dangereusement.

Toutefois ce raisonnement suppose que les lois sont traduites dans un système cohérent d'unités, sans cœfficient parasitaire ou tout au moins avec des cœfficients de l'espèce rendus indépendants du choix des unités.

Ainsi les variations de nos étalons sont innoffensives et pour les doctrines scientifiques et pour leurs applications : mais il n'en est pas tout-à-fait de même pour les résultats des expériences et des observations qui servent, comme des échafaudages, à construire la science (1). Si ces résultats, accumulés parfois pendant des siècles, demeurent trop longtemps en élaboration ou bien, si après avoir été longuement remisés, ils doivent être réemployés, il pourra se faire qu'ils ne se raccordent pas entre eux ou avec des matériaux d'origine plus récente. Le remède ou tout au moins le palliatif à ce danger est tout indiqué : c'est de ne conserver que le nombre strictement nécessaire d'unités fondamentales et de dériver de celles-ci toutes les autres.

Actuellement on dérive généralement les unités d'énergie et de force, et on ne considère comme indépendantes que les trois unités de longueur, de temps et de masse.

La loi de la gravitation universelle permettrait, si on ne lui dénie pas son caractère d'universalité, de dériver également l'unité de masse (2). Il suffirait de la définir

(1) Les vrais matériaux de la sciences sont les hypothèses et les concepts. Les résultats d'expérience peuvent être considérés comme des échafaudages qui servent seulement à élever et soutenir l'édifice.

(2) Sundell, remarks on absolute systems of physical units, Phil. Magozine, août 1892, p. 103. — Ce système a été employé par S. W. Thomson et Tait.

Digitized by Google

comme la masse qui, placée à l'unité de distance d'une masse identique, communique à celle-ci l'unité d'accélération.

De même, si on postule que les vibrations des particules d'un milieu homogène s'y propagent avec une vitesse constante, on sera en mesure de dériver l'unité de temps de l'unité de longueur et celle-ci restera l'unique unité fondamentale (1).

Mais les constantes qui entrent dans l'expression de ces deux lois ne nous sont pas connues avec suffisamment de précision pour que nous puissions les utiliser dès maintenant.

Dans la même voie, on peut par la pensée pousser plus avant encore et se figurer que les savants des temps, lointains dans l'avenir, sauront mesurer les espaces intermoléculaires et compter les moindres particules des corps. S'ils découvrent ensuite quelque édifice cristallin à paramètre absolument constant, ils pourront éliminer l'unité de longueur à son tour. Dès lors, il n'y aurait plus d'unité fondamentale de grandeur ; toute mesure se traduirait, en dernière analyse, dans un nombre abstrait et, par un étrange retour des choses humaines, ce pénible et lent acheminement de la science, à travers vingt-cinq et que de siècles n'aboutirait guère qu'à une sorte de paraphrase de l'antique maxime pythagorienne : « tout dans l'univers n'est que nombre» (*Applaudissements*).

M. *le prof.* **Eric Gerard** se croit l'interprète de tous les membres présents en remerciant vivement M. Francken du discours aussi remarquable par le fond que par la forme, qu'il vient de prononcer. Il a le ferme espoir que, par les travaux qui s'y produiront, l'année nouvelle sera aussi brillante que l'œuvre par laquelle M. le Président a voulu l'inaugurer. (*Applaudissements*).

(1) **Sundell**, Soc. cit. p. 103.

Digitized by Google

M. **Francken**, *président*, comunique une circulaire de la « Sociedad cooperativa de Vehiculos mécanicos ». Cette Société fait appel aux ingénieurs spécialistes, afin d'être renseignée sur un type pratique de voiture mécanique, et prie les ingénieurs qui auraient des données utiles à lui communiquer, de se mettre en rapport avec l'administrateur général de la Société, Orellana, 7, à Madrid.

La séance est levée à midi.

Digitized by Google

CHRONIQUE.

—

La visite du Roi des Belges à l'Institut Montefiore. — Le décennaire de l'Institut. — C'est un évènement de haute importance pour l'Institut Montefiore, que cette visite du Roi, inspirée d'abord par l'intérêt que le Souverain porte aux études si pleines d'avenir de l'électrotechnique, motivée plus encore, semble-t-il, par le désir de rendre hommage à celui qui a conçu et si largement soutenu notre école d'électricité.

Dix années d'existence, c'est peu dans l'histoire des sciences et des arts ; dans l'histoire de l'électrotechnique, c'est une période bien longue déjà, pendant laquelle la nouvelle industrie, perfectionnant ses procédés, étendant sans cesse le champ des applications possibles, mettant immédiatement à profit les rapides conquêtes des savants, a progressé tellement qu'on peut conclure à son prochain épanouissement.

L'électricien, toujours occupé de l'avenir, ne se complait guère aux retours vers le passé : nos camarades voudront bien, cependant se souvenir de ce qu'était l'Institut Montefiore à son origine, du caractère modeste de ses installations improvisées et surtout, du peu d'enthousiasme que sa création avait suscité dans le monde industriel. Ces choses doivent être dites, parcequ'elles témoignent de la clairvoyance de M. le Sénateur Montefiore, qui n'a reculé devant aucune difficulté ni aucun sacrifice pour assurer l'existence et la prospérité de l'œuvre due à son initiative.

Au puissant appui du fondateur, devait se joindre le talent du professeur pour élever, en si peu de temps, le nouvel Institut à la hauteur des meilleures écoles techniques. C'est là l'œuvre de M. le professeur Eric Gerard, dont l'enseignement sans cesse remanié n'a jamais cessé d'être

Digitized by Google

la quintessence des connaissances contemporaines dans l'art de l'électricien. Les faits attestent plus éloquemment que nos dires le succès de cet enseignement : déjà, il attire à l'Institut un nombre d'élèves beaucoup supérieur à celui qui avait été prévu pour les nouvelles installations ; il va donc falloir, pour la seconde fois, les agrandir.

Il serait injuste de ne pas faire participer, en outre, à nos éloges, nos camarades MM. Zunini, de Weydlich et De Bast, qui ont coopéré à ces succès en qualité d'assistant, de même que feu notre ami Becker, dont la vie trop courte, hélas, était si pleine d'espérances !

***

C'est le 16 novembre que le Roi s'est rendu à Liége pour y visiter l'Institut Montefiore.

M. Montefiore, accompagné de MM. Galoppin, recteur de l'Université, Bormans, administrateur, Eric Gerard, professeur, de Weydlich et de Bast assitants, reçoit l'auguste visiteur au péristyle de l'Institut.

Avant de descendre de voiture, S. M. s'adressant à M. Montefiore dit :

« C'est un ancien désir qui s'exauce aujourd'hui pour » moi, mon cher Sénateur, car depuis longtemps je voulais » connaître ces belles installations. »

Après les remercîments de M. Montefiore et les présentations faites, le Roi est introduit dans la salle des collections. Là, autour du buste de Léopold II, sont groupés avec leurs drapeaux les députations des sociétés d'étudiants: M. le recteur les présente au Roi en des termes longuement acclamés. S. M. exprime la satisfaction que la surprise de cette démarche lui donne. Elle insiste sur la nécessité du travail qui est la clef de tout. « De nouveaux » horizons s'ouvrent à votre intelligence et à votre activité » dit le Roi, « le Congo est là. Peut-être un jour quelques-uns » d'entre vous seront-ils tentés d'y aller, pour rentrer ensuite

Digitized by Google

» au pays, comme l'abeille, en rapportant leur moisson » de miel. » S. M. les exhorte encore à se rappeler la devise nationale « L'union fait la force » qui a fait jusqu'à présent le bonheur de la Belgique et doit en assurer l'avenir.

Le Roi s'entretient pendant quelques moments avec les étudiants, puis passe dans le grand auditoire, où M. Eric Gerard indique à Sa Majesté, d'après un plan tiré au tableau, les dispositions principales du bâtiment de l'Institut, en mettant en relief l'appropriation facile des locaux de l'ancienne Ecole normale des humanités à leur nouvelle destination. Il définit en quelques mots le genre des études poursuivies à l'Institut et réalise une expérience montrant les multiples transformations de l'énergie électrique, qui peut tour à tour créer le mouvement mécanique, la chaleur et la lumière et produire des actions chimiques.

Il s'étend ensuite quelque peu sur ces diverses transformations, rappelant que l'électricité est actuellement l'agent par excellence du transport et de la distribution de la puissance mécanique, qu'elle fournit un mode d'éclairage particulièrement agréable au moyen de la lampe à incandescence et économique lorqu'on a recours à l'arc voltaïque. Un tableau, sur lequel sont montées les pièces qui entrent dans la fabrication d'une lampe à incandescence, montre au Roi le principe de la construction de celle-ci. La projection sur un écran de l'arc permet de distinguer les diverses parties de ce brillant foyer lumineux.

Quoiqu'il constitue la source lumineuse industrielle dont le rendement est le meilleur, l'arc est loin de transformer en lumière toute l'énergie qu'il absorbe et dont la plus grande fraction se transforme en chaleur inutilement. Un immense progrès serait réalisé si l'on pouvait produire la lumière sans cet accompagnement de vibrations calorifiques. Les expériences de Tesla, que M. Gerard a réalisées devant le Roi, constituent un pas dans cette voie. Après avoir montré la magnifique décharge électrique que permettent d'obtenir

Digitized by Google

les courants de haute fréquence et de haute tension employés par Tesla, M. Gerard allume à travers son corps une série de tubes vides d'air, dont la belle lueur phosphorescente se manifeste, d'ailleurs aussi, lorsque ces tubes sont simplement placés dans le champ électrique sans être reliés d'aucune façon à la source d'énergie.

L'arc électrique a aussi été utilisé à la soudure des métaux. Deux plaques de plomb sont soudées par ce procédé devant les assistants et M. le Professeur Gerard a montré encore à l'auditoire le procédé de chauffage et de trempe imaginé par MM. Hoho et Lagrange, et qui consiste à soumettre à une différence de potentiel élevée la tige métallique sur laquelle on opère et le bain d'eau dans lequel on la plonge.

Si nous nous servons continuellement de l'électricité, poursuit M. Gerard, nous savons bien peu de choses quant à sa nature. Les recherches récentes conduisent à admettre qu'elle se propage par ondes comme la lumière ; comme le montre en particulier l'expérience de Lecher, répétée devant S. M., on peut créer des nœuds et des ventres de vibrations électriques et, de leur étude, déduire la vitesse de propagation des ondes électriques ; on trouve que cette vitesse est égale à celle de la lumière.

Le Roi remercie M. Gerard de ses lucides explications et des belles expériences qui lui ont rapidement fait passer en revue les principaux phénomènes électriques.

Dans la salle des collections où le Roi repasse ensuite, M. Francken, président de l'Association et M. L'Hoest, secrétaire général lui sont présentés. S.M. se fait exposer par le premier le but et les travaux de notre Société ; elle s'entretient avec le second d'applications électriques réalisées aux chemins de fer de l'Etat. M. le président Francken, s'autorisant de l'intérêt que le Roi témoigne à l'Association, le prie d'agréer l'hommage du bulletin, hommage que S.M., accepte avec beaucoup de bienveillance.

Digitized by Google

Elle examine ensuite, avec attention, quelques rapports et projets dressés par des élèves de l'Institut. Elle admire beaucoup la riche collection d'appareils de démonstration et de mesure que possède l'Institut. Deux types de compteurs électriques en fonctionnement attirent particulièrement son attention.

Dans l'atelier où les élèves de l'Institut sont au travail, M. Gerard montre au Roi les modèles des appareils de mesure que les éleves construisent pour s'initier au travail du bois et des métaux, et dont ils se servent ensuite dans les expériences. S.M. trouve un mot aimable pour chacun des élèves placés sur son passage.

Elle visite ensuite les laboratoires des élèves, les salles d'étalonnage et la chambre photométrique et s'entretient avec les officiers belges et étrangers, chargés par leur gouvernement de suivre les cours et travaux de l'Institut.

Dans l'une des salles d'étalonnage, S.M. examine avec le plus vif intérêt une balance de haute précision perfectionnée par M. Montefiore.

Dans les salles d'essais industriels sont installés, entre autres, un moteur polyphasé sans aucun collecteur et une série d'appareils de chauffage par l'électricité : radiateur, bouilloire, poêle, four, allume-cigare, ventillateur électrique etc.

Après s'être arrêté quelque temps dans le hall des machines où fonctionnent la machine à vapeur Bollinckx et plusieurs dynamos puissantes, le Roi se dirige vers le pavillon des machines de service, où M. Montefiore le prie de vouloir, par sa signature, inaugurer le livre d'honneur de l'Institut.

Sa Majesté signe au milieu de la page en disant, en souriant à M. Montefiore : « Je fais un blanc-seing, j'espère que vous n'en abuserez pas. »

Au cours de sa visite, le Roi s'est fait présenter M. Georges May, conservateur-mécanicien de l'Institut,

Digitized by Google

et les officiers étrangers qui suivent les cours : deux Roumains, deux Italiens, un Français, un Hollandais et un Argentin. Tous étaient en grande tenue.

L'heure du départ a sonné : le Roi a pris alors congé des élèves de l'Institut et a rencontré de nouveau les étudiants dans le porche. Ceux-ci l'ont acclamé et le Roi a remercié ainsi en partant : « Merci, mille fois merci, je suis à vous de cœur et je formule les vœux les plus ardents pour vos succès dans les examens. »

Il a serré la main à M. Montefiore, a salué les autres personnes présentes et est monté en voiture.

***

Comme nous le disions plus haut, la visite royale est un évènement à inscrire dans les fastes de l'Institut Montefiore. Nous qui restons attachés au souvenir du temps que nous y avons passé, nous apprécions à sa valeur, l'acte de haute bienveillance par lequel le Souverain belge a salué l'anniversaire décennal de l'école qui nous a formés.

G. L.

Digitized by Google

Digitized by Google

SÉANCE DU 21 JANVIER 1894

Présidence de M. Francken, président.

Ont signé la liste de présence MM. Biske, Brunhes, Busset, Calmeau, Chemin-Palma, Clerici, De Bast, Delepaulle, Demaret Clovis, Derclaye, Dessain, Dubois, Ferrand, Francken, Eric Gerard, Grottendieck, Ilkoff, Journeaux, Julius, Larmoyer, L'Hoest, Magenties, Marengo, Mavroïdis, Mélotte, Mihail, Nieuwland, Nobili, Philippe, Plamezy, Razu, Revel Zama, Scheffer, Schreibmann, Semenza, Vitale, du Welz, Zelenay.

M. le Président fait part à l'assemblée de la mort du professeur Henri Hertz, membre honoraire de l'Association. La perte de ce jeune savant est vivement ressentie partout et particulièrement en Allemagne, où on le considérait déjà comme une des illustrations scientifiques du pays. Elle ne le sera pas moins par notre Association à qui Henri Hertz avait prodigué des encouragements dans ses modestes débuts. Une lettre de condoléances a été adressée à Madame Hertz au nom de l'Association.

M. le Président notifie la nomination de M. Philippe en qualité de secrétaire du Comité.

Le procès-verbal de la dernière séance, déposé sur le bureau, n'ayant donné lieu à aucune observation, est approuvé.

La parole est donnée à M. **Grottendieck**, trésorier, qui donne connaissance à l'assemblée de la situation financière de la Société.

Recettes

En caisse à l'expiration de l'exercice 1891-92.	fr.	577 12
Cotisations arriérées, recouvrées en 1893 . .	»	660 00
» de l'exercice 1892-1893	»	2343 75
» 1893-1894 (payement anticipé). .	»	20 00

Digitized by Google

Vente de brochures . . . . . fr.		38 50
Intérêts de sommes déposées (livret 404.336). »		38 52
		3677 89

Dépenses

Impression du bulletin (1). . . . . fr.	1283 21	
Frais de port, de secrétariat et de séances . . . . . »	247 28	
Frais du trésorier . . . . . »	88 75	
Change, escompte et divers. . . . »	22 45	
		1641 69
En caisse à ce jour . . . . fr.		2036 20

Même en tenant compte des dépenses restant à liquider sur l'exercice précédent, on peut affirmer que notre situation financière est satisfaisante.

Les comptes de gestion du trésorier, ainsi présentés après vérification par le Comité, sont approuvés sans observation.

M. **Francken**, *président*, communique ensuite à l'assemblée son travail intitulé :

Note sur le maximum de sensibilité dans les méthodes de Thomson et de Mance pour la détermination de la résistance d'un galvanomètre ou d'une pile.

Soient a, a', b, b', c, c' les résistances des diverses branches d'un pont de Wheastone appareillé pour appliquer la méthode de Thomson (fig. 1) ou bien celle de Mance (fig. 2). Soit i l'intensité du courant dans la branche galvanométrique.

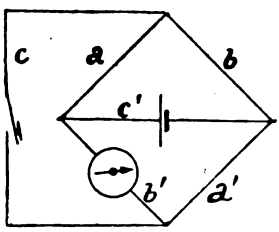


Fig. 1

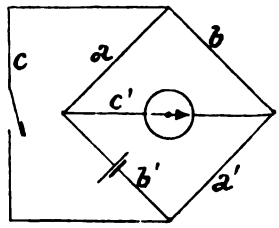


Fig. 2.

(1) Ce compte n'est pas terminé.

Digitized by Google

$$i = \frac{a(b+a') + c(a+b)}{aa'(b+b'+c+c') + bb'(a+a'+c+c') + cc'(a+a'+b+b') + c(ab'+ba') + c'(ab+a'b')} E$$

E représente la force électromotrice de la pile.

Soient encore M, N, M' et N' des fonctions de a, a', b, b' et c'; i_1 et i_2, les valeurs de i pour $c = 0$ et pour $c = \infty$. On a :

$$i = \frac{Mc + N}{M'c + N'} E$$

$$i_1 = \frac{N}{N'} E$$

$$i_2 = \frac{M}{M'} E$$

$$i_1 - i_2 = \frac{NM' - MN'}{M'N'} E$$

et enfin

$$NM' - MN' = (aa' - bb')(\overline{a+b}\, a' + \overline{a'+b}\, c')$$

Si le pont était parfaitement équilibré, on aurait $ab' = ba'$ et par suite $i_2 = i_1$. Mais, en pratique, on ne parvient évidemment qu'à rendre les courants i_2 et i_1 approximativement égaux, en sorte qu'entre i_1 et i_2 il subsiste une légère différence Δi et que

$$bb' = aa'(1 + \varepsilon) \qquad (1)$$

en appelant ε l'erreur relative commise en calculant b' par la relation

$$bb' = aa'.$$

Si maintenant nous traitons ε, comme une quantité infiniment petite, et si, pour simplifier les écritures, nous posons $\frac{b}{a} = n$, la relation (1) nous permet d'écrire

$$NM' - MN' = n^2 ab'(\overline{n+1}\, ab' + \overline{a+b'}\, c')\varepsilon$$

$$M' = (n+1)(\overline{n+1}\, ab' + \overline{a+b'}\, c')$$

$$N' = n(a+b')(\overline{n+1}\, ab' + \overline{a+b'}\, c')$$

Digitized by Google

d'où

$$\Delta i = \frac{n.\, ab'.\, \varepsilon}{(n+1)(a+b')(n+1\ ab'+a+b'\ c')}\, E$$

Cette dernière relation donne enfin, en appelant K la constante galvanométrique et $\Delta\alpha$ l'écart angulaire correspondant à la variation de courant Δi

$$\varepsilon = \frac{(n+1)(a+b')(n+1\ ab'+a+b'\ c')}{n\,ab'} \cdot \frac{\Delta\alpha}{KE} \qquad (2)$$

Telle est la valeur de l'erreur relative, qu'il s'agit de rendre minima. Cette valeur est une fonction des deux variables a et n.

En écrivant cette expression sous la forme

$$\varepsilon = \frac{n+1}{nb'} \cdot (a+b') \left(n+1\ b' + c' + \frac{b'c'}{a}\right) \cdot \frac{\Delta\alpha}{KE}$$

on voit immédiatement, qu'il faut attribuer à a la valeur

$$a = b' \sqrt{\frac{c'}{n+1\ b'+c'}} \qquad (3)$$

Pour cette valeur de a, ε prend la forme

$$\varepsilon = \frac{n+1}{n} \left(\sqrt{n+1\ b'+c'} + \sqrt{c'}\right)^2 \cdot \frac{\Delta\alpha}{KE} \qquad (4)$$

et il nous reste à rendre minima la fonction

$$V = \sqrt{1+\frac{1}{n}} \left(\sqrt{n+1\ b'+c'} + \sqrt{c'}\right) \qquad (5)$$

En écrivant que la dérivée logarithmique de V doit être nulle, on trouve, après suppression du facteur $n+1$, que la valeur de n, qui rend V minimum, doit satisfaire à l'équation

$$n^3 - n^2 - \left(1 + 2\frac{c'}{b'}\right) n + \left(1 + \frac{c'}{b'}\right) = 0. \qquad (6)$$

Cette équation admet trois racines réelles : une, négative, une comprise entre 0 et 1 et la troisième, plus grande que 1.

Digitized by Google

Il est aisé de montrer que c'est la dernière qui donne le minimum cherché. En effet en écrivant V sous la forme

$$V = \sqrt{c'\left(1 + \frac{1}{n}\right)} + \sqrt{b'n + 2b' + c' + \frac{b' + c'}{n}}$$

on voit que cette fonction peut être décomposée en deux parties, dont la première est continuellement décroissante, tandis que la seconde est minima pour $n = \sqrt{1 + \frac{c'}{b'}}$, c'est-à-dire pour une valeur plus grande que 1. La fonction V ne peut donc, elle aussi, être minima que pour une valeur de n supérieure à 1.

Il reste à déterminer la racine de (6), plus grande que l'unité. Comme il suffit d'en connaître une valeur grossièrement approchée, le plus simple est de mettre cette équation sous la forme

$$\frac{c'}{b'} = \frac{(n+1)(n-1)^2}{2n-1} \qquad (6')$$

On peut aisément construire une table qui donne les valeurs de $\frac{c'}{b'}$ pour les valeurs de n comprises entre 1 et telle limite supérieure qu'on veut. On trouve de la sorte, pour

$n = 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35$ et 40,

$\frac{c'}{b'} = 0, 1, 3{\cdot}2, 6{\cdot}4, 15{\cdot}9, 29{\cdot}4, 46{\cdot}9, 100{\cdot}7, 194{\cdot}5, 305{\cdot}5,$ $441, 603$ et 789.

De ces valeurs, on déduit la table suivante d'un usage plus commode pour les interpolations

$\frac{c'}{b'}$	0	1	5	10	20	30	40	50	100	200	300	400	500	600	700	800
n	1	2	3·6	4·9	7·7	8·1	9·3	10·3	15	20·3	25	28·6	32	35	37·6	40·2
Δ	1	1·6	1·3	2·8	0·4	1·2	1	4·7	5·3	4·7	3·6	3·4	3	2·6	2·6	

Digitized by Google

Dans l'emploi de la méthode de Thomson, $\frac{c'}{b'}$ représente le rapport de la résistance de la pile à celle du galvanomètre : c'est toujours une fraction très voisine de zéro. En sorte que, pour cette application, on a toujours n très voisin de l'unité. Il en résulte qu'on devra prendre

$$a = b' \sqrt{\frac{c'}{2b' + c'}}$$

$$= \sqrt{\frac{b'c'}{2}} \qquad (3')$$

et qu'on aura

$$\varepsilon = 4b' \frac{\Delta \alpha}{KE} \qquad (4').$$

Dans l'emploi de la méthode de Mance, $\frac{c'}{b'}$ représente le rapport de la résistance du galvanomètre à celle de la pile.

Si la pile se compose d'un grand nombre d'éléments, il peut se faire que ce rapport soit compris entre l'unité et quelques centaines. Dans ce cas, il sera utile de faire usage de la table ci-dessus.

Mais chaque fois que le rapport $\frac{c'}{b'}$ sera suffisamment grand, par exemple quand il dépassera 500 et que par conséquent n sera supérieur à 30, on pourra faire usage des formules approximatives suivantes :

$$\frac{c'}{b'} = \frac{(n^2 - 1)\,(n - 1)}{2\,(n - 1/2)}$$

$$= \frac{n^2}{2}$$

d'où

$$n = \sqrt{2\,\frac{c'}{b'}} \qquad (6')$$

Digitized by Google

La relation (6') donne

$$(n+1)\,b' = \frac{2n-1}{(n-1)^2}\,c'$$

$$= \frac{2c'}{n-1}$$

d'où l'on déduit

$$a = b'\sqrt{\frac{c'}{\frac{2c'}{n-1}+c'}}$$

$$= b'\sqrt{\frac{n-1}{n+1}}$$

$$= b' \qquad (3'')$$

On a aussi

$$\varepsilon = \frac{n+1}{n}\left(\sqrt{\frac{2}{n-1}+1}+1\right)^2 c'\,\frac{\Delta\alpha}{KE}$$

$$= \frac{n+1}{n}\left(\sqrt{\frac{n+1}{n-1}}+1\right)^2 c'\,\frac{\Delta\alpha}{KE}$$

$$= 4c'\,\frac{\Delta\alpha}{KE} \qquad (4'').$$

* * *

D'après Mascart et Joubert (Leçons sur l'Electricité et le Magnétisme, II, p. 396), le maximum de sensibilité, dans l'application de l'appareillage de Thomson, serait atteint en prenant

$$b' = a$$

$$a' = b'\sqrt{\frac{2c'+b'}{b'}}$$

c'est-à-dire, si nous considérons c' comme négligeable devant b', ce qui est toujours le cas,

$$a = a' = b' = b$$

Digitized by Google

Dans ce cas, notre formule (2), montre que

$$\varepsilon = 8b' \frac{\Delta\alpha}{KE}$$

Dans ces conditions, l'erreur relative est donc double de celle (4') que fournit notre choix des paramètres.

MM. Mascart et Joubert ne déterminent pas les conditions du maximum de sensibilité dans le cas du procédé de de Mance.

* * *

Kempe (Traité élémentaire des mesures électriques, trad. de Berger d'après la 3e édit. anglaise, p. 98), préconise dans le cas de la méthode de Thomson, de prendre a aussi petit que possible et b aussi grand que possible. Alors la formule (2) donne, en négligeant 1 devant n qui est maximum et a devant b',

$$\varepsilon = nb' \frac{\Delta\alpha}{KE}$$

n avec les ponts ordinaires pouvant atteindre la valeur 100, les valeurs conseillées par Kempe peuvent fournir des résultats jusque 25 fois moins satisfaisants que ceux qui résultent de nos calculs.

Le même auteur, dans le cas de la méthode de Mance, préconise encore (p. 118) de prendre a minimum et b maximum. Dans de telles conditions, notre formule (2) donne, en négligeant l'unité devant n

$$\varepsilon = \frac{(a + b')(nab' + \overline{a + b'}\, c')}{ab'} \frac{\Delta\alpha}{KE}$$

Nous pouvons supposer, pour plus de simplicité, qu'en vue de satisfaire aux prescriptions de Kempe, on prenne

$$a = b'$$

$$\varepsilon = \frac{2b'(nb'^2 + 2b'c')}{b'^2} \frac{\Delta\alpha}{KE}$$

Digitized by Google

$$= 2\,(nb' + 2c')\,\frac{\Delta\alpha}{KE}$$

Si on prend $n = 100$ et si nous supposons que $\frac{c'}{b'} = 50$

$$\varepsilon = 8c'\,\frac{\Delta\alpha}{KE}$$

Dans ces conditions l'erreur serait de 100 % plus élevée que celle (4″) prévue par les formules que nous avons établies (*Applaudissements*).

L'assemblée décide de remettre à la prochaine séance la discussion de ce travail.

M. **Julien,** industriel à Bruxelles, produit expérimentalement le procédé de soudure, de forgeage et de trempe superficielle des métaux dû à la collaboration de MM. Lagrange et Hoho.

La séance est levée à midi et demi.

Digitized by Google

SÉANCE DU 25 FÉVRIER 1894

Présidence de M. Francken, président.

Ont signé la liste de présence MM. Bayet, Bronne, Brunhes, Busset, Chemin-Palma, Clerici, Crombé, De Bast, Decroës, Demaret Clovis, Derclaye, De Waey, Dierman, Dubois, Erens, Ferrand, Firket, Francken, Gérard Emile, Horounjenkoff, Javal, Journeaux, Julius, L'Hoest, Loewenstein, Magenties, Marengo, Masson, Mélotte, Muret, Nobili, Philippe, Planas y Escubos, Regout, Revel Zama, Scheffer, Semenza, Steels, Vitale, du Welz, Wéry, Zelenay.

Il est donné lecture à l'assemblée d'une lettre de M. Heilmann exprimant le regret qu'il éprouve à ne pouvoir assister à la séance et demandant un extrait de la note relative à la locomotive électrique.

Un exemplaire du bulletin lui sera adressé.

La parole est donnée à M. **L'Hoest** pour sa communication sur

La locomotive électrique de M. Heilmann.

Les électriciens suivent en ce moment avec beaucoup d'intérêt les expériences qui se pratiquent au Hâvre, avec la locomotive électrique imaginée par M. Heilmann, pour la remorque des trains de chemin de fer. Nous pensons être agréable à nos camarades en donnant ici une description succincte de ce moteur original et en faisant suivre cette description de quelques réflexions, que cette conception nous suggère à priori.

Dans sa forme première, l'invention de M. Heilmann comportait une petite usine ambulante, avec chaudière, moteur à vapeur, dynamo génératrice, installée sur le véhicule de tête d'un train. Les réceptrices étaient établies

Digitized by Google

en partie sous la voiture usine, en partie disséminées dans le train.

Mais l'inventeur n'a pas tardé à reconnaître combien cette solution compliquait les conditions de l'expérience, parcequ'elle nécessitait non seulement la construction de l'usine roulante, mais encore l'appropriation et la spécialisation des voitures automobiles.

Dans son second projet, M. Heilmann a concentré les réceptrices sous l'usine qui, de la sorte, devenait une locomotive dans laquelle l'arbre moteur, séparé mécaniquement des essieux, transmettait à ceux-ci son mouvement par l'intermédiaire d'un transport électrique d'énergie. Les réceptrices étaient du type triphasé de Brown, type simple, commode dans ses liaisons à la génératrice, parce que ces liaisons ne comportent ni collecteur ni balais.

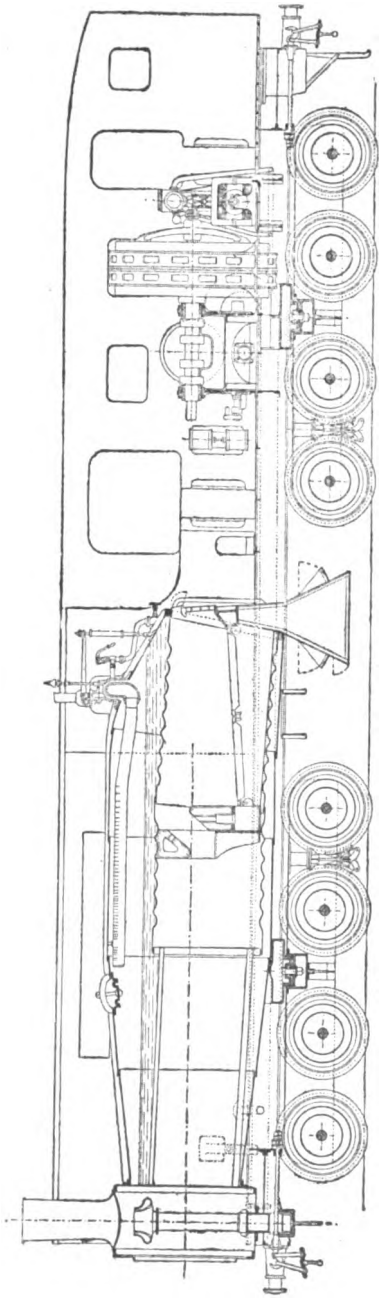
Mais néanmoins l'auteur du projet abandonna l'emploi de ces moteurs, spécialement à cause de leur insuffisance au démarrage. L'obligation de maintenir un synchronisme à peu près rigoureux entre la machine motrice et le train empêchait cette machine de développer sa puissance maxima aux allures lentes, et faisait perdre ainsi le précieux avantage de la séparation cinématique du moteur à vapeur et du mécanisme de propulsion.

C'est évidemment à regret que M. Heilmann a renoncé aux moteurs à champ tournant pour adopter un système à courant continu ; aussi ne s'y est-il résigné qu'en considération de la facilité qu'offre le second système pour les mesures qui seront multipliées dans la locomotive d'expériences. Pour les trains à longs parcours accomplis sans arrêt, sur des lignes peu accidentées, il conserve la conviction que les moteurs polyphasés sont supérieurs aux moteurs à courant continu.

Comme nous le disions ci-dessus, l'inventeur a modifié son second projet par la substitution du courant continu au courant polyphasé, et c'est sous cette forme définitive qu'a été exécutée la locomotive actuellement essayée.

Nous en donnerons une courte description.

Digitized by Google



Châssis. — La locomotive repose sur deux boggies à quatre essieux, solidement construits d'ailleurs, qui ne présentent aucune particularité. Les fusées d'essieu n'ont pas de congé à l'avant, afin de permettre l'extraction du coussinet par le soulèvement de la boîte et le démontage du couvercle frontal. Cela n'est pas neuf, mais l'application en est ici judicieuse. L'empattement de chaque truck est de 4 mètres et le diamètre de roues de $1^{m}15$.

Le châssis proprement dit mesure 16 mètres entre tampons, longueur de même ordre que dans les locomotives ordinaires ; il est assemblé à chaque truck par une cheville ouvrière, à la manière des véhicules américains.

Chaudière. — L'auteur a fait choix d'une chaudière Lentz à foyer en tôle ondulée, et ce type, grâce au système de propulsion électrique, a pu se développer avec toute facilité en largeur : le diamètre maximum a été porté à

Digitized by Google

1m93. Le foyer circulaire en tôle ondulée, comparable à un foyer Cornouaille, est suivi d'une chambre de combustion, puis du corps tubulaire ; la boîte à fumée qui termine la chaudière ne sort pas de la forme ordinaire.

La capacité de ce générateur est considérable ; l'eau renfermée au niveau moyen pèse 9500 kilogs.

Les bâches à eau, d'une contenance de 10 à 12 mètres cubes, encadrent la chaudière : le tout couvre la moitié arrière du châssis, la partie d'avant étant réservée aux moteurs à vapeur, aux dynamos génératrices et aux accessoires.

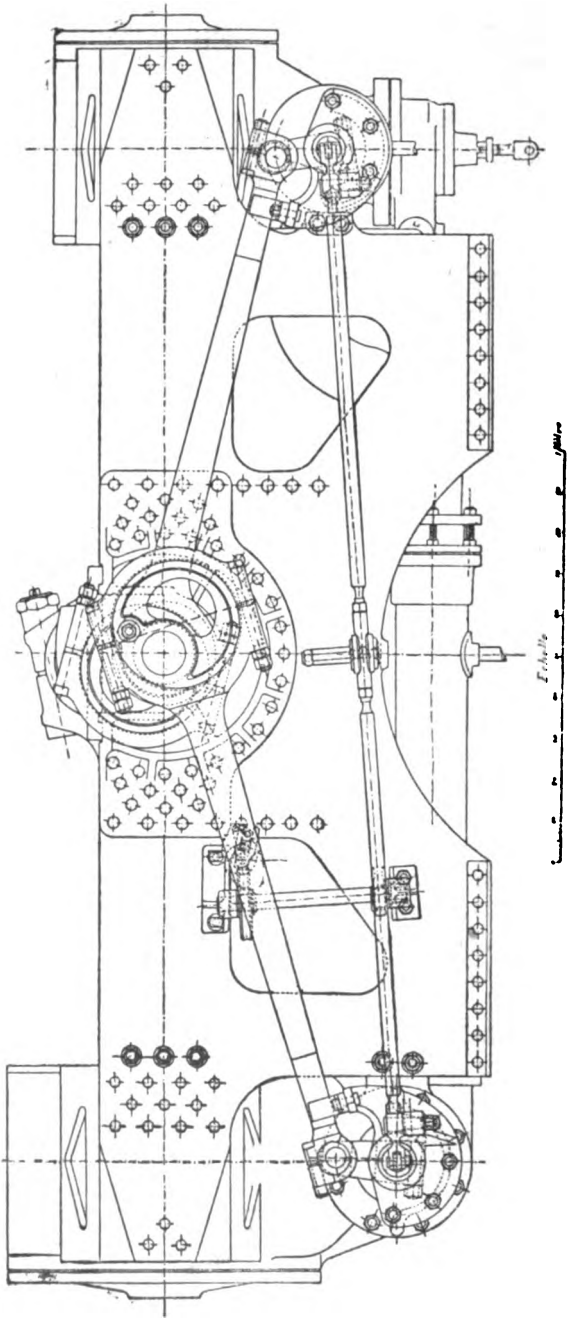
Machine à vapeur principale. — Comme nous l'exposerons par la suite, la plus précieuse propriété du système Heilmann, celle que l'inventeur place d'ailleurs en première ligne dans le but qu'il a poursuivi, est la stabilité de la marche. L'instabilité des locomotives ordinaires tenant au mouvement alternatif des organes moteurs, c'est bien dans la machine motrice du système nouveau qu'il fallait multiplier les soins pour annihiler l'influence de ces causes perturbatrices.

Le groupe machine-dynamo, monté sur un arbre commun, est établi à l'aplomb de l'axe du truck d'avant.

La machine à vapeur est compound, horizontale, à deux cylindres opposés dont l'axe commun est disposé en travers du châssis, à environ 2m25 au-dessus du rail. La bielle du cylindre de détente attaque l'arbre coudé au centre ; la crosse de piston du cylindre de haute pression est assemblée à deux bielles parallèles, reliées d'autre part à deux coudes latéraux de l'arbre moteur ; ces coudes font avec le premier un angle de 180°.

Tout le système est relié par un bâti qui s'oppose à la transmission des efforts au véhicule et ne laisse porter au dehors que le couple de rotation. Au surplus toutes les pièces de mouvement, équilibrées dans le sens horizontal de par leur disposition, ont été étudiées de manière à réaliser l'équilibre vertical.

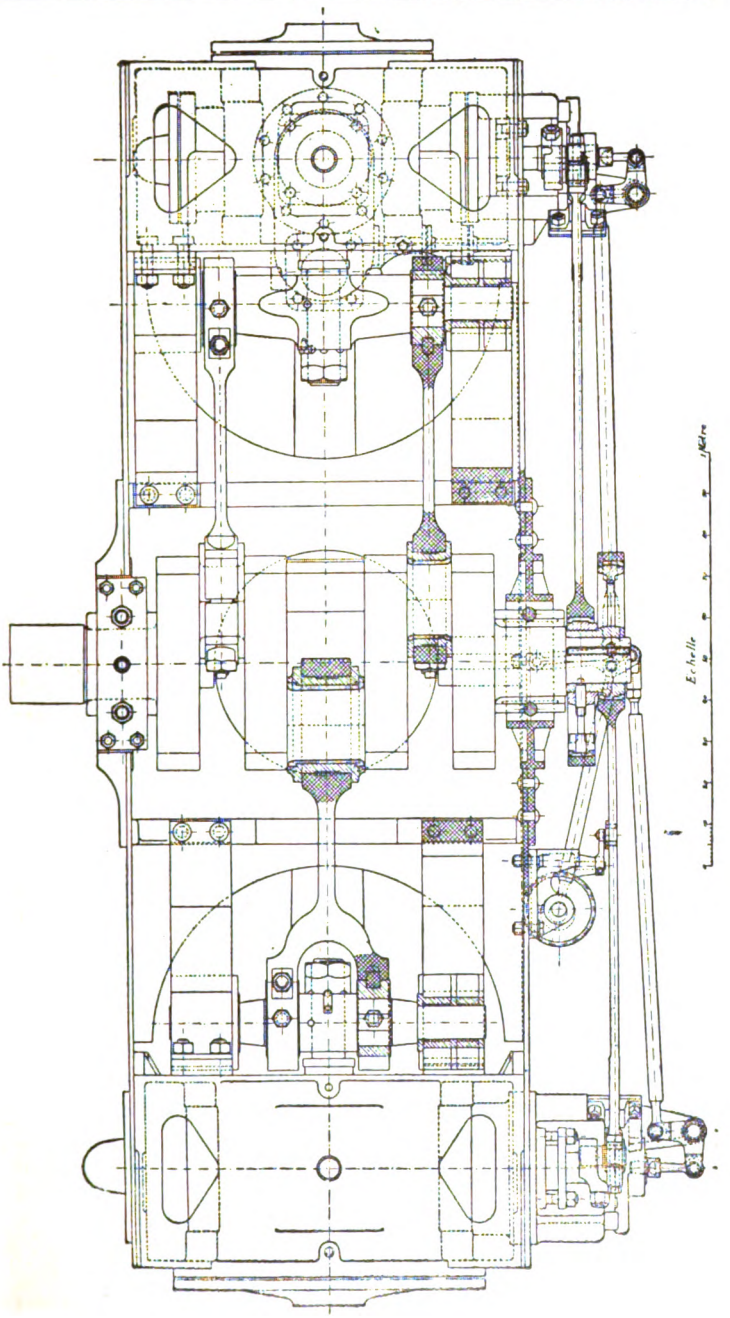
Digitized by Google



Machine principale

Elévation

Digitized by Google



Plan

Digitized by Google

La vapeur d'échappement, au sortir du cylindre de détente, est envoyée à la boîte à fumée par une conduite qui s'étend sous le châssis.

Pour compléter cette courte spécification, nous donnerons les constantes de la machine.

Puissance effective à la vitesse de	300 tours	600 chevaux
» » »	500 »	800 »
Introduction au grand cylindre		60 %
» petit »		60 %
Diamètre du grand cylindre		650 m/m
» petit »		425 »
Course commune		300 »
Pression initiale (à la chaudière)		12 kg.
Pression de la vapeur à son arrivée au grand cylindre, environ		4 1/2 à 5 »
Poids de la machine		5200 »

Dynamo principale. — Le type adopté est à six pôles disposés à l'intérieur d'une couronne circulaire en acier coulé. L'induit est en anneau. Bien que le collecteur soit pourvu de trois paires de balais, les connexions Mordey ont été faites pour réunir électriquement les spires de même potentiel.

Sous la tension de 400 volts, la dynamo peut débiter normalement 1025 ampères ; sa puissance est donc de 410 kilowatts.

Groupe d'excitation. — La dynamo principale n'est pas auto-excitatrice ; une machine pilon de 20 chevaux attaquant directement une dynamo assure à la fois l'excitation de la dynamo principale et l'éclairage du train. Cette disposition est très avantageuse parcequ'elle supprime les tâtonnements pour l'amorçage de la dynamo principale, et permet de développer un travail extérieur sensiblement proportionnel à la vitesse de la machine à vapeur. Dans ces conditions, la détente peut-être maintenue à un taux constant.

Digitized by Google

Nous avons dit que les manivelles de la machine principale sont *calées* à 180° l'une de l'autre, ou plus exactement sont disposées suivant les deux rayons d'un même diamètre. Il peut résulter de cette construction une impossibilité de démarrage et on doit prévoir, en tous cas, une certaine difficulté pour franchir les points morts à la mise en train.

Le groupe d'excitation intervient alors, et son courant, lancé dans la génératrice principale, fait de celle-ci une réceptrice pendant la période de démarrage.

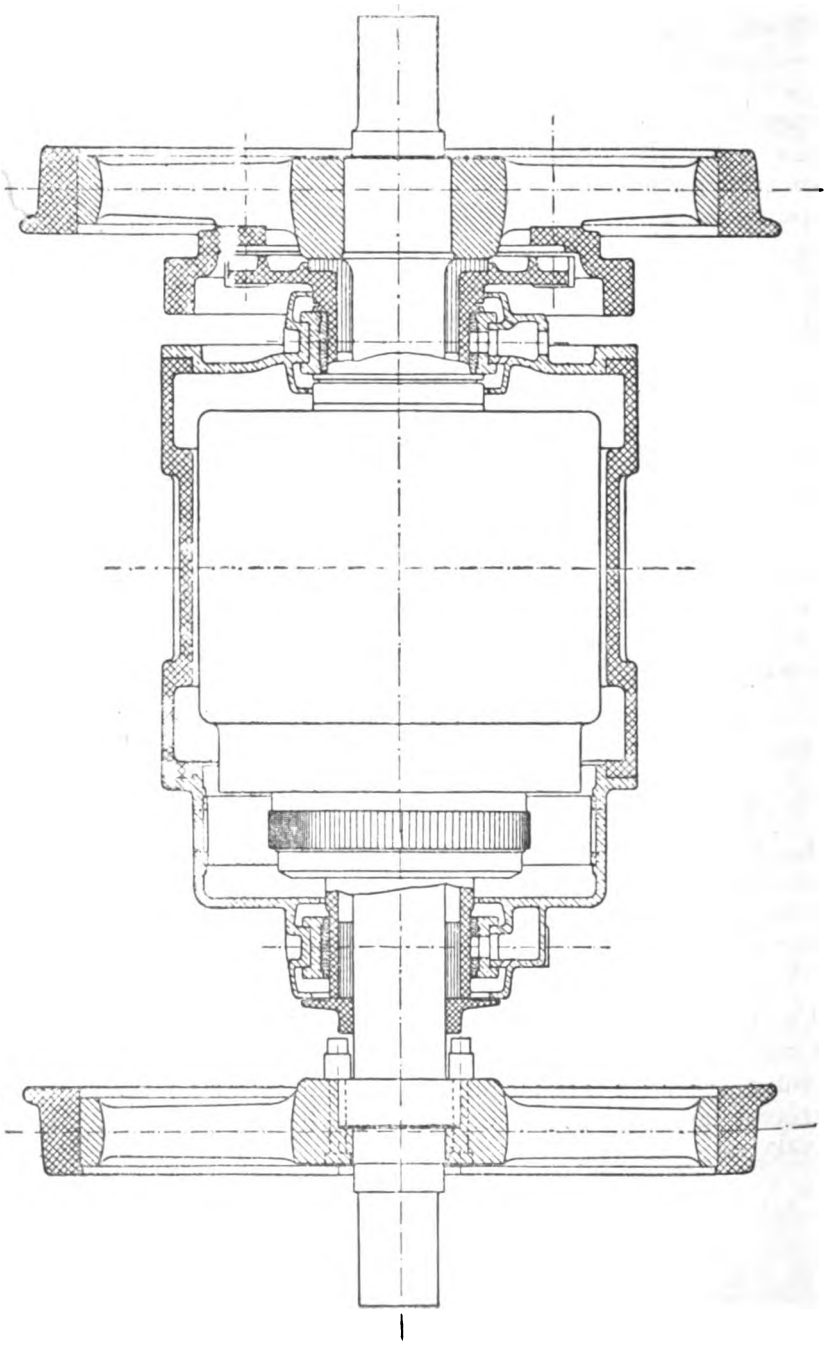
Essieux moteurs. — Les huit essieux de la machine sont moteurs. Chaque réceptrice électrique est enfilée sur son essieu ; son arbre creux est calé concentriquement au corps de l'essieu avec interposition d'une matière isolante et élastique, la woodite. Le placement ou le retrait de la réceptrice se fait avec facilité par un des bouts de l'essieu, où la roue n'est pas assemblée par pression, mais simplement boulonnée sur une portée à épaulement intérieur. Une des roues de l'essieu est entrainée par des projections de l'arbre creux.

Les moteurs sont enroulés en série, disposition qui assure un démarrage puissant et, grâce à l'indépendance de leur vitesse avec celle de la génératrice, un grand effort de traction aux petites vitesses.

Les inducteurs en forme de caisson fermé, sont tétrapolaires, avec deux bobines excitatrices seulement, disposées à l'intérieur du caisson suivant le diamètre horizontal de l'induit. La carcasse de l'inducteur porte, par des paliers, sur l'arbre creux.

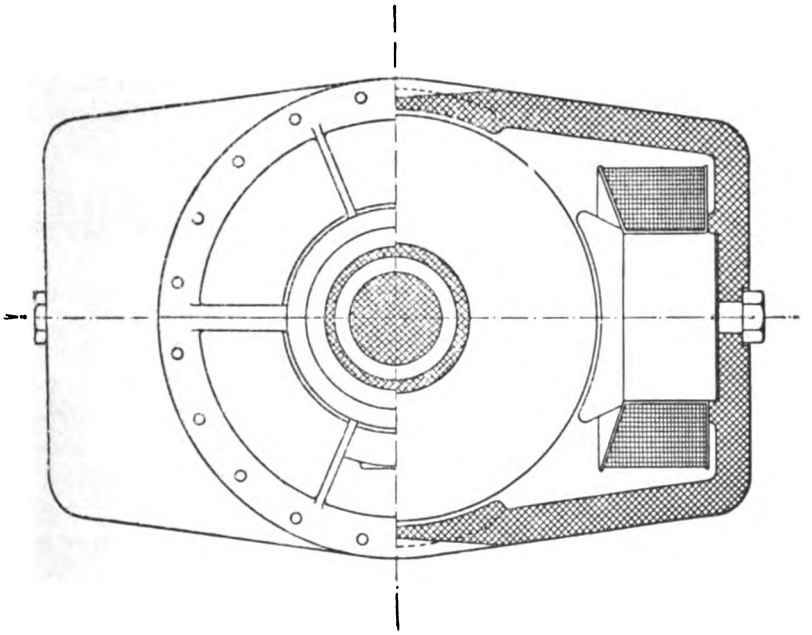
Comme on le fait assez généralement aujourd'hui dans les moteurs puissants, l'anneau de l'induit est denté pour mieux résister à l'entraînement du fil. Un entrefer relativement large réduit les courants de Foucault et le décalage.

Digitized by Google



Échelle

Digitized by Google



Frein. — L'appareillage du frein à air comprimé (Wenger ou Westinghouse) est employé pour le freinage. M. Heilmann fait peser les blocs, non sur la surface de roulement des roues, mais sur la jante d'une poulie calée sur une des roues de chaque essieu. Il supprime ainsi une cause d'usure anormale des roues, mais au prix de l'addition d'un organe ; de plus la poulie, de moindre diamètre que la roue, doit être pressée avec plus d'énergie, pour produire le même effet retardateur.

Service de la machine. — Le machiniste, qu'on appelle ici le pilote, est en vigie dans la salle des machines, à l'avant de la locomotive ; il est abrité par une caisse en forme de proue aux angles arrondis, qui atténue la résistance de l'air au mouvement.

Le chauffeur trouve naturellement sa place devant le foyer de la chaudière.

Digitized by Google

***

Dans la conception de sa locomotive, M. Heilmann a poursuivi le but d'accroître la stabilité, l'adhérence, la puissance et la souplesse du remorqueur.

Stabilité. — L'auteur constate qu'avec les locomotives ordinaires, la transmission mécanique limite la stabilité à grande vitesse. Nous sommes parfaitement de son avis et nous ajouterons même que l'instabilité, sur les paliers, ou tout au moins sur les pentes, limite la vitesse souvent plus que toute autre cause. Dans ces conditions de profil, c'est en accroîssant la stabilité plutôt que la puissance du moteur qu'on pourra augmenter la vitesse avec sécurité.

Grâce à son montage sur boggies et aux soins particuliers qui ont été pris pour éviter toute participation du système au mouvement alternatif des pistons, la locomotive électrique nous paraît irréprochable sous le rapport de la stabilité.

Adhérence. — Dans la locomotive de M. Heilmann, tout le poids est utilisé pour l'adhérence. L'absence des accouplements par bielles rigides accroit encore le coefficient d'adhérence, en sorte que nous devons certainement admettre que l'effort de traction puisse atteindre $^1/_6$ du poids adhérent sans provoquer le patinage. Cet effort limite s'élèverait donc à 18,333 kilog., chiffre auquel les attelages ne résisteraient pas longtemps et que les moteurs électriques ne permettraient d'ailleurs pas d'atteindre.

Remarquons en effet, qu'en supposant un rendement de transformation absolument parfait, les 800 chevaux de la machine, à la vitesse des trains de marchandises (20 $^{k.}$ à l'heure) ne correspondraient qu'à un effort théorique de 10800 kilogr.

Cette seconde partie du programme, c'est-à-dire l'accroissement de l'adhérence est donc largement remplie et laisse encore beaucoup de latitude pour réduire le poids du système, sans exposer au patinage.

Digitized by Google

Puissance. -- Nous comprenons moins cette revendication du système Heilmann ; elle ne s'applique pas sans doute au moteur essayé au Hâvre qui, avec sa force nominale de 800 chevaux, ne constitue pas un moteur de puissance extraordinaire.

La revendication vise donc des réalisations nouvelles du système ; mais pour porter un jugement sur leur valeur, il faut nécessairement en attendre une conception plus complète.

Ici se pose naturellement cette question : comment faut-il entendre la caractéristique de puissance d'un système ? Est-ce bien le chiffre le plus élevé que peut atteindre la valeur absolue de cette puissance ? N'est-ce pas plutôt le rapport de la puissance au poids total du moteur ?

Ainsi comprise, la caractéristique de la machine Heilmann est certainement inférieure à celle des machines de fonctionnement exclusivement mécanique.

La locomotive du type 12 de l'Etat-Belge peut développer plus de 1100 chevaux et pèse 83 tonnes, tender compris, ce qui donne au rapport la valeur de $\frac{1100}{83} = 13{,}2$ chx par tonne.

Dans la locomotive Heilmann ce rapport peut atteindre $\frac{800}{110} = 7{,}2$ chx par tonne, valeur bien inférieure à la précédente, comme on le voit.

En ce qui concerne les machines à faible vitesse dont l'adhérence est complète, si l'on considère que leur puissance est généralement aussi élevée que l'adhérence le permet, on doit conclure à l'incompatibilité d'une adhérence et d'une puissance supérieures réclamées pour une même machine.

Souplesse. — La locomotive Heilmann possède cette propriété au plus haut degré. Toutefois on ne peut dire absolument qu'elle en ait le privilège. Un type de locomotive mécanique, présenté autrefois par la Société

Digitized by Google

Cockerill au célèbre concours du Semring y a droit aussi, et avec lui tous les types qui en ont procédé, tels que celui assez répandu du constructeur Fairlie.

Toutes ces machines ont en commun, avec la première, l'articulation du châssis sur deux trucks moteurs. Toutefois la locomotive Heilmann a l'avantage de conserver cette disposition pour l'allure rapide, à laquelle les précédentes ne se prêtent guère ; mais ici la facilité d'inscription dans les courbes roides est d'un intérêt minime.

Nous venons de passer en revue les propriétés spéciales de la locomotive électrique et nous avons vu, qu'avec la réserve faite à l'égard de la puissance, cette locomotive paraît capable de répondre entièrement au but que son auteur a poursuivi.

Vitesse. — Mais quelques probants que soient les résultats aux yeux des spécialistes, M. Heilmann doit s'attendre à les voir accueillis avec déception par le gros public à qui on fait entrevoir si souvent la possibilité de vitesses fantastiques par l'emploi de l'électricité. M. Heilmann, avec beaucoup de sagesse, s'est défendu de poursuivre cette objectif extrême, dans la conférence qu'il a faite le 30 novembre 1892, à la société industrielle de Mulhouse. Je cite textuellement :

Il y a quelques temps, lorsque, sur le conseil de personnes amies, nous avons soumis notre projet à M. Charles Brown, devenu depuis notre collaborateur, il nous dit que depuis un certain temps il s'occupait du problème des grandes vitesses ; « mais pour les atteindre, ajouta-t-il, il faut laisser de côté les chemins de fer, tout comme ceux-ci ont, à un moment donné, laissé de côté les routes impériales ; je n'ai aucun doute qu'on puisse réaliser une vitesse de 200 kilomètres à l'heure. » — Si nous rapportons ici ces paroles, c'est qu'il serait difficile de trouver une opinion plus autorisée que celle de M. Brown ; sa longue expérience en matière de chemin de fer, et en particulier dans la construction des locomotives, donne à son avis une valeur indiscutable.

D'autres objections, plus graves encore, s'opposent à l'application des locomotives électriques à conducteurs fixes sur les lignes ordinaires.

. . . . . .

Digitized by Google

La locomotive nouvelle n'aura donc pas une allure beaucoup plus rapide que celle de nos locomotives à grande vitesse, et se contentera d'avoir sur celles-ci le précieux avantage de la stabilité ; cette qualité, le service de la voie, en particulier, l'appréciera sans nul doute avec plus de justice que le public.

Nous aurions voulu vous rapporter ici quelques données d'expériences; mais il nous a été impossible d'assister aux essais du Hâvre, auxquels M. Heilmann nous avait fort aimablement convié ; d'autre part, nous n'avons trouvé de ces essais aucun compte-rendu complet dans les publications qui en ont parlé.

Nous tâcherons toutefois d'estimer la vitesse que pourra prendre le nouveau moteur, remorquant une faible charge, en palier, en nous aidant à cette fin des formules usuelles de résistance des trains.

Il ne nous paraît pas rationnel d'assimiler la locomotive électrique aux machines ordinaires, au point de vue de la résistance au roulement. C'est plutôt, sous ce rapport à la voiture qu'il faut la rapporter; s'il est vrai que ses fusées d'essieu, plus grosses que celles des voitures ordinaires, doivent nous porter à estimer à un taux plus élevé les cœfficients de la résistance, par contre l'assemblage sur boggies justifie une réduction de ces mêmes coefficients, ainsi que les expériences de M. Desdouits l'ont établi.

Nous nous en tiendrons donc à l'application pure et simple de la formule de l'Est

$$r = 1{,}83 + 0.0843\ V$$

dans laquelle r est la résistance en kilogr. par tonne à la vitesse V exprimée en kilomètres à l'heure.

Cette formule a été obtenue par des essais nombreux, aux vitesses intermédiaires entre 40 et 80 kilomètres à l'heure ; il faudrait vraisemblablement en majorer les coefficients pour des vitesses plus grandes mais, pour l'évaluation que nous voulons faire, il nous sera permis de la tenir pour suffisamment approchée.

Digitized by Google

Supposons que le train extra-rapide à remorquer (en palier) n'ait qu'une charge de 40 tonnes.

Le poids de la locomotive étant de 110 tonnes et sa puissance de 800 chevaux, la vitesse x qu'on pourra maintenir sera donnée par l'égalité

$$\frac{(110 + 40)(1{,}83 + 0{,}0843\,x)}{270}\,x = 800$$

$$x = 120 \text{ kilomètres à l'heure.}$$

Nous le répétons, cette valeur est sans doute trop forte, d'autant plus que nous avons supposé un rendement parfait tant pour la dynamo génératrice que pour les récepteurs électriques.

Une puissance utile de 700 chevaux, plus conforme à la réalité, nous eut donné :

$$x = 112 \text{ kilomètres à l'heure.}$$

Ce rendement de $^7/_8$ attribué à la transformation est précisément celui qui a été obtenu avec une charge utile de 90 tonnes roulant à la vitesse de 55 kilom. à l'heure, sur une rampe de 3 $^m/^m$ par mètre.

Ce qui précède se rapporte à la marche en palier ; sur les pentes, la locomotive électrique bénéficiera bien plus encore de sa grande stabilité. Sa vitesse n'aura d'autre limite que celle que lui assignera la constitution de la voie.

Des fortes charges font perdre à la locomotive électrique une bonne part de ses avantages. Sa résistance propre diminuant d'importance dans la résistance totale, le profit de sa moindre résistance unitaire devient moins sensible, tandis que la perte de puissance due à la double transformation conserve toute sa valeur.

C'est ainsi que la relation de quelques essais du Hâvre, publiée par le journal « l'Industrie Electrique », nous parle d'un train de 85 tonnes utiles remorquées à une vitesse de 80 kilomètres à l'heure sur une rampe de 3 $^m/_m$. La locomotive type 12 de l'Etat-Belge, qui pèse avec son tender 83 tonnes, remorque 150 tonnes à la vitesse de 90 kilom. à l'heure sur une rampe de 5 $^m/_m$.

Digitized by Google

Rendement. — Il reste un dernier point à examiner, celui de l'amélioration du rendement.

Dans une étude sur les progrès futurs de la locomotive, M. Georges Marié assigne à la locomotive à grande vitesse un rendement de 40,3 % (1), le poids du moteur étant confondu avec celui de la charge utile dans l'évaluation du travail.

Ce chiffre du rendement total a été décomposé par M. Marié, qui a évalué le rendement particulier de la chaudière à 65 % ; il ressort de là que l'appareil moteur restitue $\frac{40.3}{65} = 62$ % de l'énergie qui lui est fournie.

Regray (2), par de nombreuses expériences faites à la Compagnie de l'Est, avait obtenu en moyenne 65 %. La concordance nous paraît satisfaisante.

Le rendement de la chaudière, la locomotive électrique n'a pas dans son programme de l'améliorer : l'eut-elle même que nous nous demanderions quelle influence salutaire ou nuisible, la disposition nouvelle pourrait avoir sur ce rendement. Reste le rendement du moteur.

Une cause très importante de perte de travail réside dans le frottement des organes du mouvement ; elle intervient, à l'avis de M. Marié, pour les $\frac{3}{8}$ environ de la perte totale ; plus exactement elle absorbe 16 % de l'énergie fournie au moteur. La locomotive électrique rendra-t-elle davantage ? C'est possible, même probable, en égard aux perfectionnements qu'on a pu réaliser dans son moteur principal.

Les autres imperfections du moteur entraînent dans leur ensemble une perte de 22 % du travail total.

Il est difficile d'assigner à chacune des causes le quantum

(1) Rev. Gén. des Chemins de fer, juillet 1881. Le rendement est obtenu en comparant la locomotive à une machine thermique parfaite, utilisant la vapeur à dix atmosphères et l'émettant à l'air libre, sans condenseur. Les gaz de la chaudière seraient évacués à 10° centigrades.

(2) Même Revue et même n°.

Digitized by Google

de la perte qui lui incombe. On sait toutefois que l'insuffisance de la détente entre pour une très large part dans cette perte : on connait en effet l'influence désastreuse pour le rendement thermique des surcharges qu'on impose aux machines à marchandises au préjudice de la détente.

Ici la locomotive électrique, avec son admission invariablement tenue à sa valeur la plus avantageuse, peut réaliser une amélioration considérable ; l'accroissement de l'effort moteur n'est plus obtenu par la prolongation de l'admission, mais par un accroissement de la vitesse de la machine à vapeur. C'est donc une propriété précieuse de la locomotive Heilmann que cette indépendance de la vitesse de la machine à vapeur et de celle de la translation du véhicule ; nous pensons qu'il serait bien difficile aux moteurs polyphasés, qui en feraient perdre le bénéfice, d'apporter en retour un avantage aussi important.

Une autre cause, qui arrive en second rang dans l'ordre d'importance, est la contre pression. Nous devons le dire, la disposition du tuyau de décharge dans la machine électrique, parcequ'elle oblige à donner une grande longueur à la conduite, ne nous autorise pas à espérer une amélioration de ce rendement particulier ; un résultat opposé est plutôt à craindre.

Le laminage de la vapeur et l'entrainement d'eau, deux causes de pertes qui se neutralisent partiellement, n'ont qu'une faible influence dans les deux genres de machines considérés.

Il est une imperfection du moteur dont M. Marié n'examine pas l'influence, sans doute parce qu'il la considère comme inévitable et absolument inhérente à la constitution de la locomotive simplement mécanique.

Cette imperfection crée un groupe de mouvements parasites connus sous les noms de recul, galop, roulis et lacet.

Chaque bielle motrice transmet l'effort du piston, appartenant au châssis suspendu, à l'essieu moteur non suspendu. On peut comparer cette action à celle d'une

Digitized by Google

pièce rigide qui, prenant appui sur le sol, transmettrait des efforts horizontaux alternatifs au châssis élastique, en un point écarté du centre de gravité de celui-ci.

Ces efforts créeront un couple alternatif qui, combiné pour les deux bielles, imprimera au système un mouvement complexe qu'on a décomposé comme suit :

1° Un mouvement longitudinal de va et vient qui est le recul.

2° Un mouvement oscillatoire autour de l'axe horizontal transversal passant par le centre de gravité; c'est le galop ou tangage.

3° Un mouvement oscillatoire autour de l'axe horizontal longitudinal ; on l'a nommé roulis.

4° Enfin un mouvement oscillatoire autour de l'axe vertical, le mouvement de lacet.

Les trois premiers n'affectent guère que la stabilité ; on a aussi reproché au tangage de diminuer l'adhérence, ce qui est vrai dans une certaine mesure.

Le mouvement de lacet exerce une influence aussi nuisible, au moins, sur la stabilité. De plus l'allure serpentante qu'il communique à la machine, porte les bourrelets de roues contre la face interne du rail et accroît, d'une manière sensible, la résistance au roulement.

La suppression de ce mouvement parasite dans la locomotive électrique en favorise donc, non seulement la stabilité, mais aussi le rendement.

Conclusion. — En résumé, la machine Heilmann n'apportera aucune amélioration du rendement de la chaudière ; de la puissance transmise au moteur, elle n'absorbera guère moins de 16 % en résistance de frottement des pièces du mécanisme. Mais elle permettra une réduction sensible dans les pertes attribuées à l'insuffisance de la détente et aux mouvements perturbateurs.

L'économie ainsi réalisée compensera-t-elle les pertes dues à la double transformation ? Cela n'est pas impossible à priori.

Digitized by Google

La locomotive ordinaire n'est arrivée au degré de perfection que nous lui reconnaissons que par des étapes nombreuses ; pour l'atteindre, que d'essais ont été tentés, que de labeurs accomplis par une pleïade d'ingénieurs qui sont l'orgueil du siècle. Il serait donc injuste d'imputer au système Heilmann les mécomptes que donnerait son premier exemplaire : cette locomotive d'expérience — c'est ainsi que l'auteur l'a toujours qualifiée — cette locomotive sera vraisemblablement perfectionnée. Sans doute l'auteur en diminuera le poids ou en augmentera la puissance : il peut réduire déjà l'approvisionnement de charbon qui est exagéré ; la chaudière est d'un type léger à vide, mais son poids en ordre de marche surpasse celui d'autres types ; enfin la puissance du moteur à vapeur, de la génératrice et des réceptrices peut être accrue sans une augmentation proportionnelle du poids et du volume.

Mais en parlant ainsi, nous ne voulons que mettre nos camarades en garde contre un jugement précipité ; nous n'entendons pas préjuger du résultat des essais actuellement en cours, que nous souhaitons aussi favorables que concluants *(Applaudissements).*

M. le Président remercie M. **L'Hoest** de l'exposé clair et précis, qu'il vient de faire, des avantages et des particularités de la locomotive Heilmann.

Il propose de remettre la discussion de cette question à la prochaine séance. — Adopté.

Le second objet à l'ordre du jour est la

Discussion de la note de M. Francken sur le maximum de sensibilité dans la méthode de Thomson et dans celle de Mance.

M. **Semenza** fait à ce sujet la communication suivante d'essais qu'il a entrepris en collaboration avec MM. **Revel, Clerici, Muret** et **Chemin Palma** :

Le groupe d'élèves auquel j'appartiens, a accepté avec plaisir de vérifier expérimentalement les conclusions

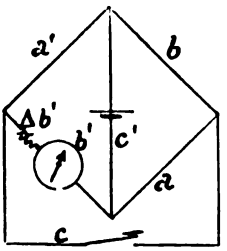
Digitized by Google

auxquelles conduit l'étude que notre président nous a produite, c'est-à-dire de procéder à une comparaison entre les méthodes de Thomson et de Mance exécutées successivement dans les conditions proposées par M. Francken, par MM. Mascart et Joubert et par M. Kempe.

Nous avons l'honneur de vous communiquer les résultats de nos expériences.

Méthode de Thomson. — Rappelons que les conditions énoncées par M. Francken, par MM. Mascart et Joubert et par M. Kempe, pour obtenir le maximum de sensibilité dans l'application de la méthode de Thomson et les valeurs des erreurs relatives sont les suivantes :

M. Francken	MM. Mascart et Joubert	M. Kempe
$a = b$	$a = b = a' = b'$	a très-petit (négligeable par rapport à b)
$b = \sqrt{\frac{b'c'}{2}}$		b très-grand
$\varepsilon = 4\left(b' \frac{\Delta\alpha}{KE}\right)$	$\varepsilon = 8\left(b' \frac{\Delta\alpha}{KE}\right)$	$\varepsilon = \frac{b}{a}\left(b' \frac{\Delta\times}{KE}\right)$



Nous avons expérimenté la méthode en nous plaçant successivement dans ces diverses conditions. Pour mesurer la sensibilité de la méthode dans les trois cas, on avait introduit à la suite du galvanomètre b' une résistance $\Delta b'$ qui pouvait être variée à volonté. Quand l'équilibre était

Digitized by Google

établi dans le pont, c'est-à-dire lorsque l'abaissement de la clef c n'apportait aucune variation dans la déviation α du galvanomètre, on variait $\triangle b'$ jusqu'à obtenir un certain dérangement dans l'équilibre. La variation de la résistance à mesurer qui correspondait à cette variation dans l'équilibre du pont, était une mesure de la sensibilité.

Le galvanomètre à mesurer avait une résistance intérieure de 319 ohms environ ; la pile était un élément Callaud, shunté de manière à en pouvoir employer la fraction de volt la plus avantageuse pour l'expérience ; les branches a, b, a' et la résistance additionnelle $\triangle b'$ étaient réalisées par des boîtes ordinaires qui permettaient des variations, ohm par ohm, depuis 1 jusqu'à 11000 ohms environ.

Les conditions données par M. Francken sont pratiquement applicables; en effet, avec une valeur de c' voisine de 10 ohms, on obtient dans notre cas : $a = b = 40$ ohms. Comme notre galvanomètre avait une constante $K = 38$ divisions pour un micro-ampère, la force électromotrice nécessaire pour avoir la déviation dans les limites de l'échelle ne devait pas dépasser 0,005 volt.

Les conditions de MM. Mascart et Joubert ne diffèrent des précédentes que dans les valeurs de a et de b, valeurs que ces auteurs conseillent de prendre égales à la résistance à mesurer. On aura donc $a = b = 319$; la force électromotrice reste la même que ci-dessus, de même que la résistance intérieure de la pile.

Les conditions de M. Kempe, pour être rigoureusement appliquées, exigent l'emploi de résistances qui sortent des limites des boîtes ordinaires. En effet, le rapport $\frac{b}{a}$ doit être très grand par rapport à l'unité, et a très petit par rapport à b'. En posant $a = 10$ et $b = 1000$, comme $b' = 319$, on a $a' = 31{,}900$. Dans ces conditions, le galvanomètre est complètement périodique, ce qui rend les lectures très difficiles. Il y avait deux moyens pour rendre ces conditions plus pratiques : ou shunter le galvanomètre, ou appliquer

Digitized by Google

moins rigoureusement les conditions indiquées. Le premier moyen introduit des causes d'erreurs qui rendraient illusoire la recherche des meilleures conditions de sensibilité ; c'est pourquoi nous avons préféré le second moyen, et nous avons trouvé comme valeurs convenables : $a = 10$, $b = 340$, desquelles résulte pour a' une valeur de 11,000 ohms environ ; la force électromotrice qui, dans ces conditions, donne une déviation de l'image voisine des limites de l'échelle est de 0,093 volt environ.

Nous réunissons dans le tableau suivant les résultats de nos expériences :

CONDITIONS DE	VALEUR DE			$\Delta b'$ pour obtenir $\Delta\alpha = 10$	Sensibilité rapportée à celle obtenue avec les conditions de MM. Mascart et Joubert.	
	a	b	a'		expérimentales	calculées
MM. Mascart et Joubert.	319	319	319	51	1.00	1.00
M. Francken. . . .	40	40	319	26	1.96	2.00
M. Kempe { rigoureuses	10	1000	31900	11	4.64	5.10
M. Kempe { pratiques	10	340	10300	13	3.92	4.60

On peut s'expliquer ces résultats de la manière suivante:

Comme c', résistance intérieure de la pile, doit être petite, on peut considérer les variations de la différence de potentiel entre les points de concours de a' avec b et de a avec b' comme négligeables pour une variation quelconque de la résistance $(a + b)$.

Le courant qui traverse le galvanomètre dépend des valeurs des résistances a' et b', c'est-à-dire que $i_g = \frac{E}{a' + b'}$ d'où on tire, puisque $aa' = bb'$ $E = i_g b' \left(1 + \frac{b}{a}\right)$.

Digitized by Google

Les formules d'erreurs nous disent que toutes les autres valeurs restant les mêmes, la sensibilité de la méthode est proportionnelle à la force électromotrice employée. Mais cette force électromotrice n'est pas arbitraire. Elle résulte des valeurs de b' résistance du galvanomètre, du rapport $\frac{b}{a}$ qui est donné et du courant i_g qui peut traverser le galvanomètre ; or celui-ci a une limite supérieure qu'il ne doit pas dépasser pour que la déviation reste dans les limites de l'échelle. On voit tout de suite qu'avec les conditions de M. Kempe, cette limite est beaucoup plus élevée qu'avec les conditions de M. Francken et de MM. Mascart et Joubert. Il est vrai que les trois formules des erreurs ont un facteur commun $\left(b' \frac{\Delta\alpha}{KE}\right)$: mais ce groupe qui a la même valeur dans les formules de M. Francken et de MM. Mascart et Joubert, est bien différent dans la formule de M. Kempe.

On pourrait se demander s'il n'y aurait pas avantage à varier la sensibilité du galvanomètre. On voit, au premier abord, que cela est inutile. En effet :

$$i_g = \frac{\alpha}{K} = \frac{E}{a' + b'}$$

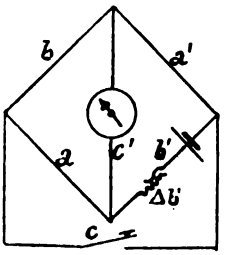
d'où

$$EK = \alpha\,(a' + b').$$

c'est-à-dire que pour la déviation maxima du galvanomètre, le produit EK est constant : donc une variation de K ne produit aucune variation dans la valeur de l'erreur relative.

En résumé, les expériences comparatives décrites et les considérations théoriques exposées, nous portent à croire, que si les conditions proposées par M. Francken pour l'application de la méthode de Thomson sont préférables à celles données par MM. Mascart et Joubert, elles sont moins avantageuses que celles proposées par M. Kempe.

Digitized by Google



Méthode de Mance. — Les conditions et les erreurs relatives données par M Francken et par M. Kempe pour l'application de la méthode de Mance, sont les suivantes :

M. FRANCKEN	M. KEMPE
$\frac{b}{a} = \sqrt{2\frac{c'}{b'}}$	a très-petit
$a = b'$	b très-grand
$\varepsilon = 4c'\frac{\Delta\alpha}{KE}$	$\varepsilon = 2\left(\frac{b}{a}b' + 2c'\right)\frac{\Delta\alpha}{KE}$

En appliquant les conditions données par M. Francken, nous avons d'abord recherché pratiquement la valeur des branches du pont qui pouvait concilier les conditions données avec cette autre condition que la déviation du galvanomètre ne sorte pas des limites de l'échelle ; en nous servant des résistances et les shunts dont on dispose ordinairement, nous n'avons pas pu atteindre ce résultat.

Nous avons alors demandé au calcul l'explication de ces difficultés.

Recherchons l'expression du courant qui passe dans le galvanomètre lorsque celui-ci n'est pas shunté. Si on appelle i_1 et i_2 les courants qui traversent respectivement les branches ab et $a'b'$; i_g celui qui traverse le galvanomètre, les deux lois de Kirschhoff nous donnent :

$$i_g + i_1 = i_2 \qquad c'i_g + (a' + b')\,i_2 = e \qquad (a + b)\,i_1 - c'i_g = 0$$

Digitized by Google

en éliminant i_1 et i_2, on a

$$i_g = \frac{e}{b + b' + 2c'} \qquad (1)$$

La valeur maxima de i_g est donnée par la condition que l'image réfléchie arrive au bout de l'échelle, c'est-à-dire, dans notre cas particulier, à la division 360 ; on a alors avec notre galvanomètre :

$$(i_g)_{max} = \frac{360}{K} = \frac{360}{3g} \text{ micro-ampère} = 9 \times 10^{-6} \text{ ampère}$$

En substituant cette valeur, et celle de $e = 1{,}03$ volt dans l'équation (1) on obtient :

$$b + b' + 2c' = \frac{1{,}03}{9} \, 10^6 \text{ ohms} = 113000 \text{ ohms environ.}$$

Or b et b' sont relativement petits, donc la valeur de $2c'$ devrait être de l'ordre de 100000 ohms. On comprend alors qu'avec $c' = 319$, l'image devait sortir violemment de l'échelle.

Il se présentait deux moyens pour réduire cette déviation entre des limites mesurables ; l'une consistait à diminuer la constante K du galvanomètre avec un shunt assez faible pour que le courant traversant la branche c' satisfasse à l'équation.

$$i_{c'} = \frac{e}{b + b' + 2c'}$$

l'autre était d'augmenter suffisamment la résistance dans la branche c' avec une résistance additionnelle.

Examinons en détail ces deux moyens :

Shunt au galvanomètre. — Si s est la valeur du shunt, la résistance composée du shunt et du galvanomètre, c'est-à-dire la résistance dans la branche, c'est :

$$c' = \frac{gs}{g + s} \qquad (2)$$

Digitized by Google

et la (1) devient :

$$i_g = \frac{e}{b + b' + \frac{2gs}{g+s}} \quad \frac{s}{g+s} = \frac{es}{s(b + b' + 2g) + g(b+b')}$$

La valeur maxima de i_g appréciable avec notre galvanomètre est, comme auparavant :

$$i_g = 9 \times 10^{-6}$$

La valeur de s qui rend la lecture possible est donc donnée par l'équation :

$$s = \frac{g(b + b')}{120.000 - (b + b' + 2g)}$$

Or, dans notre cas : $b' = 7 \quad g = 319$, donc :

$$s = 319 \frac{b + 7}{119355 - b} \qquad (3)$$

Mais la seconde condition donnée par M. Francken $\frac{b}{a} = \sqrt{\frac{2c'}{b'}}$, combinée avec la première $a = b'$, et avec (2) revient à la suivante :

$$b = \sqrt{\frac{2b'gs}{g+s}} = \sqrt{2b'g} \sqrt{\frac{1}{\frac{g}{s} + 1}}$$

et comme

$$\sqrt{\frac{1}{\frac{g}{s} + 1}} < 1$$

on voit que :

$$b < \sqrt{2b'g}$$

c'est-à-dire $b < 66.$

De la (3), on tire :

$$s < \frac{1}{5.1}$$

Digitized by Google

Nous avons essayer de réaliser cette condition en prenant $s = \frac{1}{10}$ ohm.

Les conditions de M. Francken $a = b'$; $b = a\sqrt{2\frac{c'}{b'}}$ et $aa' = bb'$ nous ont donné alors (comme $c' = \frac{1}{10}$ environ) :

$$a = b' - 7 \qquad b = 1.18.$$

En prenant alors $b = 1$, on aurait obtenu un pont dont les branches aurait eu les valeurs :

$$a = 7\,; \qquad b = 1\,; \qquad a' = 1\,; \qquad b' = 7\,; \qquad c' = \frac{1}{10}$$

La déviation reste alors dans les limites de l'échelle, mais on a un pont dans lequel la pile est toujours fermée sur des résistances absolument trop petites ; d'autre part, lorsque la clef c est abaissée, le circuit extérieur a, à peu près, la résistance de 7 ohms.

Il est évident que ces conditions ne permettent pas une application pratique.

Résistance additionnelle au galvanomètre. — Nous avons obtenu des résultats un peu plus satisfaisants en introduisant une résistance additionnelle dans la branche c' du galvanomètre.

Dans ce cas, pour assurer la périodicité du galvanomètre, on a dû le shunter. Avec ce système, nous avons obtenu des conditions assez favorables, avec un shunt de 65 ohms et une résistance additionnelle de 10.000 ohms ; en disposant $a = b' = 7$, on obtint $b = 372$.

Comparons l'expérience exécutée dans ces conditions avec la même exécutée suivant les données de M. Kempe.

M. Kempe conseille la valeur de a très petite, celle de b très grande. Nous avons essayé les valeurs suivantes :

$$a = 10 \qquad b = 1000$$

On dut alors faire usage d'un shunt de résistance $s = 1.9$ ohm pour se placer dans des conditions pratiques; on trouva ainsi $a' = 665$.

Digitized by Google

Nous avons remarqué que la sensibilité de la méthode dans les deux cas était très faible ; en effet, la variation de plus de 1 ohm dans la résistance de la pile (variation obtenue avec un rhéocorde disposé en série avec elle) ne produisait, au moment de l'équilibre du pont, qu'une variation d'une division environ dans les deux lectures sur l'échelle. Cependant la sensibilité de la méthode avec les conditions données par M. Francken nous a semblé un peu supérieure à l'autre, comme du reste on pouvait le prévoir par l'examen des deux formules des erreurs.

Ces conclusions ont reçu précisément une nouvelle confirmation ces jours derniers.

En effet, M. Adolphe Perrin, dans La Lumière Electrique de samedi 17 février, vient de publier une étude sur l'application de la méthode de Mance à la mesure des résistances très faibles, dans laquelle il démontre les avantages d'introduire une résistance additionnelle dans la branche du galvanomètre.

Malgré cela, il nous semble que la méthode exécutée dans les conditions de M. Francken, reste toujours désavantageuse et ceci à cause de la condition $a = b$ qu'elle implique.

Lorsque nous abaissons la clef c, le circuit extérieur de la pile a la même valeur que la résistance intérieure de celle-ci, et, dans ces conditions, presque toutes les piles se polarisent assez rapidement pour rendre la mesure incertaine.

M. Kempe donne seulement l'ordre de la grandeur de a, on pourra donc toujours le prendre assez grand pour éviter toute polarisation *(Applaudissements)*.

M. Francken remercie MM. Semenza, Revel, Clerici, Muret et Chemin Palma pour les expériences si complètes et si bien conduites qu'ils ont achevées et qu'ils viennent de résumer. Ils ont mis en évidence un fait important à retenir. Dans les applications il arrive fréquemment que les conditions du maximum de sensibilité d'une méthode ne sont pas utilisables. Ce serait donc les conditions de

Digitized by Google

sensibilité maxima, *compatibles avec la portée des appareils*, qu'ils importerait de déterminer. Malheureusement, on introduit alors dans les problèmes de minimum, une inégalité de condition, qui en rend souvent la solution compliquée. On pourrait peut-être tourner la difficulté en déterminant, au lieu du seul maximum de sensibilité, la loi de variation de la sensibilité et en la représentant par une abaque. Les procédés nomographiques de M. d'Ocagne trouveraient ici une application très utile.

M. Francken fait aussi remarquer que si, contrairement aux prévisions de ses calculs, M. Revel et ses camarades trouvent, dans le cas de la méthode de Thomson et dans les conditions de leurs expériences, une sensibilité plus grande avec les données de Kempe qu'avec celles de Mascart ou avec les siennes, le fait est dû à ce que le mot sensibilité a été entendu de part et d'autre avec des acceptions différentes. D'un côté, on considère la force électromotrice comme essentiellement constante et le courant galvanométrique comme indéterminé ; de l'autre côté, on a renversé ces données du problème. En fait, il s'agit de deux problèmes différents, pour ainsi dire pseudo-réciproques l'un de l'autre. En ramenant les expériences au cas d'une même force électromotrice on trouve bien que les conditions de M. Kempe sont environ quatre fois moins favorables que celles de M. Mascart et huit fois moins que celles de M. Francken.

Enfin, touchant la méthode de Mance, M. Francken émet l'idée qu'on réussirait peut-être l'expérience en employant deux piles en opposition. On ne déterminerait que la résistance moyenne de chacun des éléments. Mais généralement ce ne serait pas là un inconvénient. Il est vrai qu'on a observé, en opérant ainsi avec d'autres méthodes, une instabilité de courant fort gênante. Mais cette difficulté tient sans doute à ce qu'on utilisait des galvanomètres à très haute constante et il est probable qu'elle disparaitrait avec des appareils moins délicats.

La séance est levée à midi et demi.

Digitized by Google

NÉCROLOGIE

HEINRICH HERTZ (1)

Rien n'est triste, rien n'est désolant comme la mort de ce jeune et déjà illustre physicien, fauché au plus beau moment de la vie et de la production scientifique, entouré de cette naissante gloire qui l'avait désigné à trente-deux ans, sans que personne s'en étonnât, pour recueillir la succession de Clausius ; tous les honneurs l'attendaient ; plusieurs de ceux que l'on met en réserve pour couronner une longue carrière lui étaient échus ; aucun ne l'avait distrait de son travail ; aucun n'avait altéré ses sentiments de vraie modestie, si étrange aux yeux de ceux qui allaient à lui comme à un maître. Elève de Helmholtz, il fut conduit à critiquer les formules d'électrodynamique posées par l'illustre savant et, par un singulier retour, ce dernier s'engagea dans la route tracée par son jeune émule ; adoptant ses conclusions, il les développa lui-même. N'est-ce pas cela la vraie, la pure gloire ? Combien un pareil témoignage est précieux, et combien il consolerait au besoin de l'indifférence du public ; mais ses expériences avaient eu un tel retentissement que le public même était venu à lui, car c'est par les journaux politiques que la triste nouvelle nous est parvenue.

Les travaux de Heinrich Hertz sont nombreux ; partout, il apporta le sens précis du mathématicien et l'intuition du naturaliste ; il était créateur de nature, et, dans sa trop courte existence (ses travaux embrassent une période de quatorze ans), il l'a été dans plus d'un domaine.

Depuis sa thèse, soutenue à l'Université de Berlin en 1880, jusqu'à ces derniers temps, l'électricité fut l'objet de la plupart de ses travaux qui l'amenaient, par une rapide évolution, à abandonner les théories des physiciens allemands pour se rapprocher de Faraday et Maxwell, et continuer leur œuvre

Hertz débuta en traitant un problème aride de mathématiques appliquées, celui qui consiste à calculer les lignes de force dans une sphère pleine ou creuse, magnétique ou non, tournant dans un champ magnétique quelconque. Puis après quelques recherches dont nous parlerons tout a l'heure, il abandonna pour quelque temps l'électricité pour s'occuper de physique moléculaire. L'étude de la tension de vapeur le conduisit à construire un nouvel hygromètre ; mais, surtout, il se fit connaître dès cette époque par un fort beau mémoire sur le contact des corps élastiques, inséré au quatre-vingt-douzième volume du *Journal de Crelle*. Il calcula la forme de l'ellipse de contact, et, dans le cas de choc, la déformation maxima, la gran-

(1) *L'Industrie Electrique* du 25 janvier 1894.

Digitized by Google

deur des efforts, et les autres éléments du problème. Les résultats ne sont donnés que comme une approximation, pour des déformations très faibles, dans le cas de corps parfaitement élastiques; mais l'expérience a montré que les formules étaient beaucoup plus exactes que Hertz ne le supposait ; ainsi, l'auteur montre que, pour d'étroites limites, la durée de contact de deux sphères d'une même matière est proportionnelle à leur rayon, et inversement proportionnelle à la puissance 1/5 de leur vitesse relative, tandis que le rayon du cercle de contact est proportionnel à la puissance 2/5 de la vitesse. Ces conclusions ont été vérifiées dès l'année 1885 par Schneebeli ; l'expérience montra que les formules sont encore vraies dans le cas des sphères d'acier, pour des pressions locales de 530 kg : mm^2 dépassant beaucoup, par conséquent, la limite d'élasticité : des constatations analogues ont été faites dernièrement par M. P.-G. Tait.

Des considérations du même ordre conduisirent Hertz à une définition rationnelle de la dureté des corps. Dans la conférence qu'il fit à l'*Institute of Civil Engineers* le 3 mai 1883, Sir W. Thomson faisait remarquer combien l'étude de la dureté était en retard sur les autres mesures physiques, surtout à cause de l'absence d'une définition de cette propriété, permettant de l'exprimer par un nombre. Cette lacune était comblée depuis un an à l'insu du maître de Glasgow, car c'est le 2 mai 1882 que Hertz avait développé, dans une séance de la Société de Physique de Berlin, les considérations qui l'avaient conduit à définir numériquement la dureté, par la pression qui doit exister au centre du cercle de contact pour que la limite d'élasticité soit atteinte. Cette définition range dans l'ordre déjà adopté les corps qui constituent depuis longtemps l'échelle empirique des duretés; elle correspond donc au sens que nous avons du phénomène, mais elle est bien supérieure en précision à la définition des minéralogistes.

Nous avons insisté beaucoup sur ces premiers travaux peu connus de Hertz pour faire ressortir la netteté de son esprit et la facilité avec laquelle il abordait tous les domaines. L'importance des définitions qu'il avait données ressort déjà du regret exprimé par Sir W. Thomson. Si Hertz avait poursuivi ses travaux dans cette direction, il eut sans aucun doute fait de belles découvertes, mais il ne serait connu aujourd'hui que d'un petit nombre de spécialistes. La nature de son esprit voulût qu'il fut porté vers les problèmes de l'électricité, qui ont aujourd'hui le don de passionner chacun et conduisent rapidement à la célébrité ceux qui ouvrent des voies nouvelles.

Hertz avait débuté dans les expériences d'électricité en cherchant à déterminer l'inertie du courant électrique, d'abord par l'étude de l'étincelle de rupture, puis en examinant la déformation possible

Digitized by Google

des lignes de force dans un disque en rotation, déformation qui serait due à une cause analogue à celle de la déviation des alizés. Le problème est évidemment fort intéressant ; car, en assimilant le courant électrique à un courant d'éther, dont la densité est approximativement connue, on peut en déduire sa vitesse, puisque l'on connaît dès lors mv et mv^2. Les expériences eurent un résultat négatif, et ne purent, par conséquent, donner que la limite supérieure, déjà très basse, de mv^2.

Dès l'année 1884 nous voyons Hertz discuter les équations de l'électrodynamique, et montrer que le système élaboré par les grands physiciens allemands est incomplet ; en ajoutant aux équations les termes négligés, on arrive soit à un système inextricable, soit directement à celui de Maxwell sous une autre forme. Le mémoire écrit à Kiel ouvre la série de ces beaux travaux théoriques, complétés plus tard après ses mémorables expériences.

Il convient de mentionner encore, dans l'année 1885, une note de quelques pages, par lesquelles l'auteur mit fin à une discussion homérique entre MM. J.-J. Thomson, Clausius, Lodge, Helmholtz, et quelques autres physiciens, discussion qui avait pour but de déterminer les dimensions du pôle magnétique.

C'est par cette série de solides travaux que Hertz s'était préparé aux expériences qui eurent, dès l'année 1888, un si grand retentissement ; et quoique cette dernière partie de sa vie soit de beaucoup la plus importante et la plus fertile en découvertes, nous pourrions presque passer ici sous silence cette brillante série d'expériences, car aucun de nos lecteurs n'en a perdu le souvenir.

La théorie de Maxwell était suffisamment établie pour ceux qui avaient eu le loisir de l'étudier en détail, mais il manquait, pour la fixer dans les esprits, des expériences populaires et tangibles ; il manquait aussi des données expérimentales sur diverses équations démontrées par le grand physicien de Cambridge, notamment sur la relation entre le pouvoir inducteur spécifique et l'indice de réfraction. La production, grâce à l'étincelle excitatrice, d'oscillations électriques d'une rapidité inconnue jusque-là, permit à Hertz de démontrer expérimentalement la réflexion et la réfraction des forces électrodynamiques. Le procédé expérimental étant créé, un grand nombre de physiciens entreprirent l'étude ces phénomènes ; les premières assertions de Hertz furent beaucoup modifiées, mais les appareils qu'il avait inventés : excitateur et résonnateur, restèrent en principe les mêmes.

La loi si importante de Maxwell : $k = n^2$, se prête mal à une vérification lorsqu'on n'opère que sur des ondes dont la longueur est voisine du micron. D'autre part, les ondes de quelques kilomètres de longueur nécessiteraient des appareils de dimensions analogues et, alors même qu'on les posséderait, l'induction serait sans doute

Digitized by Google

imperceptible. Les ondes hertziennes, comprises entre 1 dm (1) et quelques mètres, sont un précieux intermédiaire, et comme un pont jeté entre deux ordres de phénomènes qui paraissent, à première vue, n'avoir entre eux aucune analogie L'extrapolation jusqu'à l'infini, en partant des ondes hertziennes, fait rentrer dans les lois de Maxwell un grand nombre de relations qui paraissaient en contradiction formelle avec la théorie, tant que l'on avait opéré sur les ondes lumineuses seulement, ou même sur l'ensemble beaucoup plus étendu des radiations dues au mouvement des molécules.

Sans doute, Hertz avait commis plus d'une erreur ; il avait attribué à l'excitateur un rôle qui est celui du résonnateur, ainsi que l'on montré MM. Sarasin et de la Rive, dans une expérience qui fit grand bruit, et dont M. Poincaré a donné la théorie vérifiée depuis par M. Bjerknes ; il s'était trompé aussi dans l'interprétation de la propagation de l'onde *le long d'un fil*, comme les habiles physiciens de Genève l'ont prouvé par de belles expériences ; ses recherches n'avaient pas la précision de celles de M. Blondlot ; leur théorie a été modifiée par M. Poincaré, néanmoins elles l'ont rendu célèbre à juste titre, car il avait créé une méthode féconde en résultats, et largement ouvert une porte close.

C'est au cours de ses recherches préliminaires sur l'étincelle excitatrice que Hertz découvrit par hasard l'action de la lumière ultraviolette sur la déperdition de l'électricité négative, ce singulier phénomène qui attira vivement, dès cette époque, l'attention sur lui, et dont la cause, démontrée par MM. Lenard et Wolf, doit être cherchée dans une pulvérisation du métal. Dans cette voie des phénomènes actino-électriques, il avait aussi été créateur, par l'effet d'un heureux hasard, ce puissant auxiliaire de ceux qui savent en profiter. Plus peut-être que son travail définitif, cette simple observation montre sa perpicacité à démêler les causes inconnues ; à côté du penseur et du géomètre, elle révèle le physicien de race que fut Hertz dans toute l'acception du terme.

Les honneurs ne manquèrent pas à Hertz ; le prix La Caze de l'Académie des sciences (1889), la médaille Rumford de la Société royales de Londres (1890). témoignèrent de l'estime dans laquelle ses travaux étaient tenus dans ces illustres assemblées. Il eut aussi la joie de voir les jeunes physiciens de toutes les parties du monde se presser dans son laboratoire et au pied de sa chaire.

Le nom de Hertz, comme celui du grand géomètre Abel, du poète Kœrner, d'Henri Regnault, le merveilleux coloriste, restera pour toujours empreint de cette mélancolie qui s'attache à la jeunesse tôt enlevée, aux grandes forces désormais perdues pour l'humanité.

CH.-ED. GUILLAUME.

(1) C'est en effet l'ordre de grandeur des ondes les plus courtes obtenues jusqu'à ce jour ; le dispositif qui permit d'atteindre ce but est dû à M. Righi.

Digitized by Google

SÉANCE DU 15 AVRIL 1894

Présidence de M. De Bast, vice-président.

Ont signé la liste de présence MM. Bouva, Brunhes, Busset, Chantraine, Clerici, De Bast, Decroes, Delepaulle, Ferrand, Emile Gérard, Herdt, Horounjenkoff, Journeaux, Julius, L'Hoest, Magenties, Markovitch, Mélotte, Nobli, Revel, Semenza, Vitale, du Welz, Wéry.

M. Francken, président, en voyage, prie l'assemblée d'excuser son absence.

M. **De Bast**, *vice-président*, présente la note ci-après de M. **Dawson**, note intitulée :

Le Tramway électrique de Guernsey.

Introduction. — En qualité d'associé de M. R. W. Blackwell M. I. E. E., ingénieur conseil du tramway électrique de Guernsey, j'ai eu l'occasion de faire de cette installation une étude complète, et j'ai cru qu'il pourrait être intéressant d'en faire, aux camarades de l'association, une description critique en me plaçant au point de vue de l'ingénieur indépendant, qui n'est intéressé dans aucun système particulier.

La ligne de tramway en question a été exploitée pendant plus de dix ans par la traction à vapeur, mais ni le service ni les recettes n'ont été brillants. Il y a environ deux ans, la Cie du tramway décida d'adopter la traction électrique et après avoir reçu plusieurs soumissions, confia l'installation à la maison Siemens B^ros^ de Londres.

Disons tout d'abord quelques mots au sujet de la situation de la ligne, ainsi que des conditions particulières dans lesquelles elle se trouve.

Digitized by Google

Guernsey est la seconde, en importance, des îles de la Manche et compte environ 33,000 habitants. Le tramway relie la ville principale, Saint-Pierre-Port (16000 habitants), à Saint-Sampson (3600 habitants).

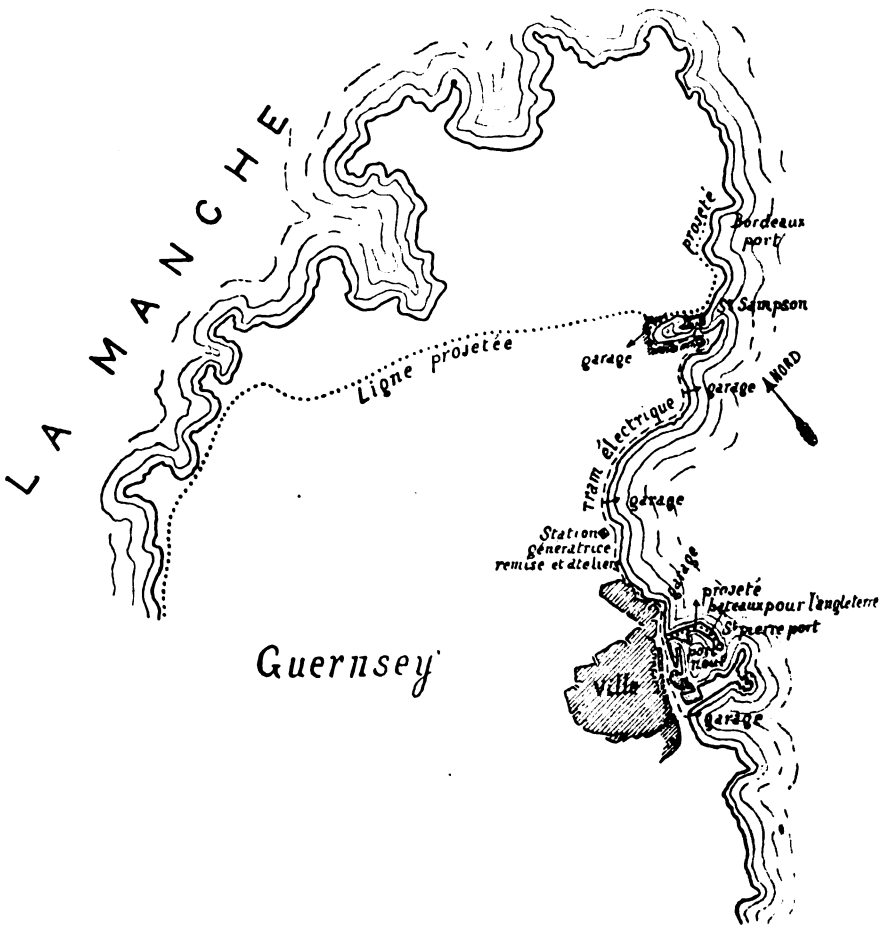


Fig. 1.

Digitized by Google

Cette dernière ville possède un port marchand et des carrières de granit très importantes, donnant lieu à un transport de 150000 tonnes par an en Angleterre. Cette partie de l'île étant très accidentée, le tramway suit les sinuosités de la côte et les voitures sont exposées à toute la force du vent.

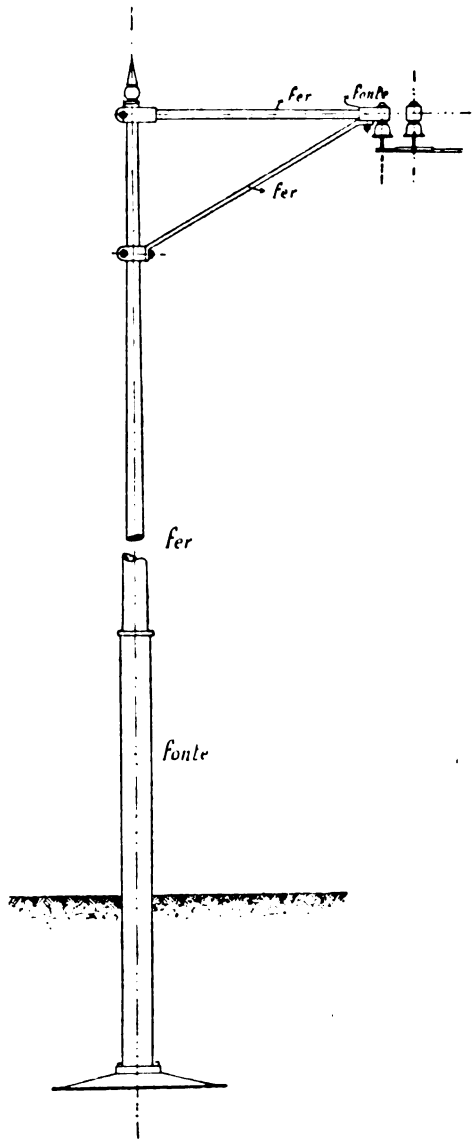
La ligne est à simple voie avec cinq évitements et a environ 4,8 kilomètres de longueur. Les courbes et les rampes y sont très nombreuses, et en plusieurs endroits, à marée haute et quand le temps est gros, les vagues viennent se briser sur la voie.

Comme il n'y a pas d'arrêts fixes, et que les voitures doivent prendre et déposer les voyageurs en tous les points de la route, le service est exceptionnellement rude et lorsqu'il s'opérait par la vapeur il y avait des interruptions à tous moments. Depuis l'introduction de l'électricité, le service est maintenu avec la plus grande régularité et sans difficulté. Le public n'a d'ailleurs pas tardé à s'apercevoir des avantages de ce mode de traction, comme le démontre le nombre croissant des voyageurs.

Ligne aérienne et retour par la terre. — Le conducteur aérien est formé d'un fil de cuivre nu de $9^{m}/^{m}$ de diamètre, supporté au-dessus d'un des rails par des poteaux en fer à potence, lesquels sont écartés de 40 à 45 mètres en moyenne. Aux évitements la suspension transversale a également été employée. La longueur des potences varie de 50 centimètres à 3 mètres, selon la position des poteaux qui a été fixée par la municipalité. Les poteaux employés sont de trois calibres différents, suivant l'effort qu'ils doivent supporter, et sont du type adopté par la maison Siemens pour la télégraphie.

Ils se composent d'un soubassement en fonte boulonné par quatre boulons à une taque en tôle bombée qui sert de fondation ; dans ce soubassement est fixé, au moyen de ciment au soufre, un tube conique en fer qui porte la potence à son sommet.

Digitized by Google



Plaque en fer bombée.

Fig. 2. — Echelle $^1/_{30}$.

Digitized by Google

L'isolateur est fixé *rigidement* à celle-ci par un boulon; ce mode de fixation est certainement défectueux. Un certain jeu est donné par la pince à laquelle le fil aérien est soudé, et qui est mobile dans la direction de celui-ci. Il en résulte que si le fil est mal tendu la pince peut atteindre une inclinaison telle, par rapport à l'isolateur, que le bourrelet du trolley vienne, en passant, en contact avec le bord inférieur de l'isolateur, brise celui-ci et cause un court circuit sur la ligne; ce fait s'est produit plus d'une fois. Il vaut mieux fixer l'isolateur au moyen d'une charnière à un manchon, la pince étant *rigidement* fixée à l'isolateur.

Il n'y a pas de feeder le long de la ligne, la station génératrice se trouvant près du milieu de celle-ci; la ligne n'est pas non plus divisée en sections isolées.

Le type d'isolateur employé est celui dit au mica; la substance isolante est formée d'une composition contenant une grande quantité d'éclats de mica. La matière n'étant pas homogène il s'y forme souvent des fissures suivant lesquelles l'isolateur ne tarde pas à se briser.

Les rails utilisés sont de deux types. Là où la voie se trouve sur la chaussée, on emploie des rails à rainure fixés sur des longrines en bois; là où elle s'écarte de la chaussée, des rails du modèle Vignoles sont posés sur traverses en bois distantes de 75 centimètres.

Le poids des rails est d'environ 20 kilogs par mètre courant; il eut été préférable de porter ce poids à 30 ou 40 kilogs, pour faciliter le roulement et augmenter la conductibilité au retour du courant.

Ce retour se fait donc par les rails. Le long des rails à rainure, on a posé un conducteur supplémentaire en cuivre nu de 9 m/m de diamètre connecté, au moyen d'un fil de cuivre de 6 m/m de diamètre, à chacun des rails.

Le long des rails Vignoles il n'y a pas de conducteur spécial de retour, la continuité électrique étant obtenue au moyen d'une lame de fer ondulée de 25 m/m de largeur

Digitized by Google

et 2.5 m/m d'épaisseur rivée au patin des rails. On aurait mieux fait d'employer un système de connexion plus parfait. La question du retour par la terre et des connexions électriques entre les rails est d'une si grande importance, que je me propose d'en entretenir l'association d'une manière spéciale d'ici à peu de temps.

Station centrale. — La station génératrice se trouve environ au milieu de la ligne. C'est un bâtiment en maçonnerie avec toiture en fer ondulé. Il renferme deux machines Compound semi-fixes du type locomobile, munies de chaudières à tubes de fumée comme dans les locomotives. Elles travaillent à une pression de 140 livres par pouce carré et la puissance nominale de chacune d'elles est de 25 chevaux ; mais à pleine admission elles peuvent développer 75 chevaux indiqués. Le diamètre du cylindre à haute pression est de 10 pouces ; celui à basse pression mesure 16 pouces et la course 18 pouces ; le nombre de tours par minute est de 120.

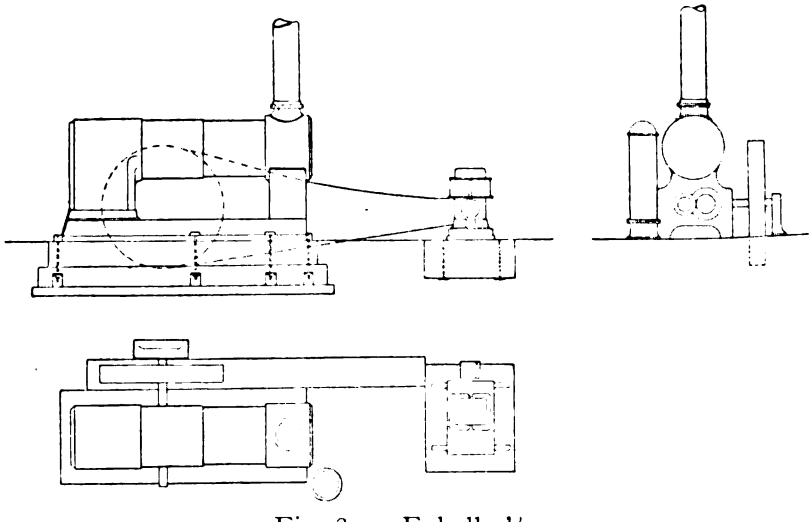


Fig. 3. — Echelle 1/150

Digitized by Google

L'admission au cylindre à haute pression est réglée par un régulateur « Hartnell » qui fait varier le degré de détente.

Ce régulateur donne de bons résultats et maintient le nombre de tours constant à moins de 5 % lors des plus grandes variations de charge.

Le volant de chaque machine a un diamètre de 8 pieds et pèse 2100 kilogs. Il transmet par courroie son mouvement à une dynamo Compound, du type inférieur, qui tourne à 650 tours et fournit 100 ampères sous 500 volts.

L'échappement des moteurs est à air libre, et chaque machine est pourvue d'un économiser (à chauffeur d'eau), d'une pompe d'alimentation Worthington et d'un injecteur Friedman.

Les choses sont arrangées de telle façon qu'une chaudière puisse alimenter l'un quelconque des deux moteurs.

A la mise en marche, si le piston du cylindre à haute pression se trouve au point mort, on peut admettre la vapeur de la chaudière directement dans le cylindre à basse pression.

Ce type de machine et de chaudière a été adopté à cause de la facilité de son transport et de son installation, et du peu d'attention qu'il exige : un seul homme peut servir de chauffeur et de mécanicien.

Il ne serait pas recommandable dans le cas d'une grande station centrale, pour laquelle on aurait le choix entre le type marin, le type Lancashire et celui à tubes d'eau. Mais le choix d'un générateur, comme celui de tant d'autres parties de l'équipement d'une station centrale de tramway, dépend des circonstances locales, et doit être laissé à l'ingénieur conseil et non pas à l'entrepreneur.

Le tableau de distribution se trouve au fond de la salle des machines en face de la porte d'entrée : la figure 4 donne un schéma des connexions.

Digitized by Google

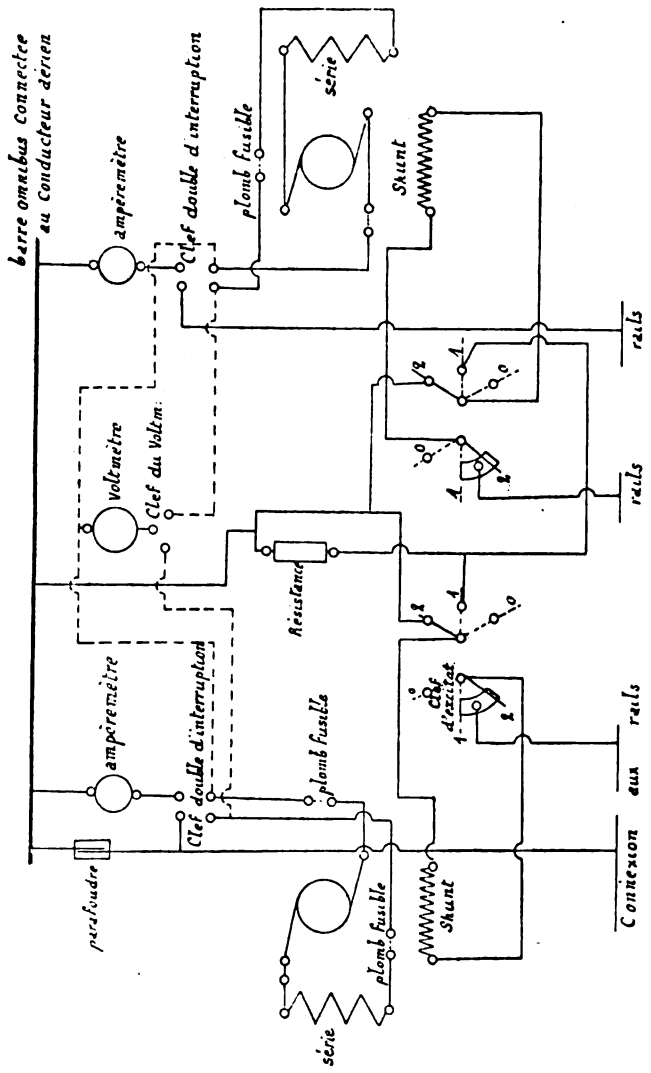


Fig. 4. — Schema du tableau de distribution.

Pour mettre une seconde machine en parallèle avec celle déjà en service, on commence par exciter, par

Digitized by Google

l'intermédiaire d'un rhéostat liquide d'environ 300 ohms, l'enroulement shunt de la seconde génératrice ; puis on communique à celle ci sa vitesse normale et quand son voltage atteint celui du circuit extérieur, on attend un moment favorable où le courant débité par la station tombe pour fermer la clef d'interruption et mettre la dynamo en circuit.

La station est éclairée au moyen de 20 lampes à incandescence, en série par groupe de 5, sur le circuit extérieur.

Remise et ateliers. — La remise des voitures et l'atelier sont établis dans un bâtiment formant corps avec l'entrepôt de charbon et la station génératrice. Il y a trois voies dans la remise, chacune pourvue d'une fosse de 1.20 mètre de profondeur. Le bâtiment lui-même est limité d'un côté par un mur en moëllons, de l'autre côté par des poutres en double T reposant sur des fondations en béton, avec pièces tranversales garnies de tôles en fer ondulé. La toiture, aussi en fer ondulé, est supportée par des fermes en arc d'une portée de 40 pieds. L'atelier est pourvu de tours, foreuses, etc., activés par une machine à un cylindre alimentée par une ancienne locomotive de tramway. Si la machine et la chaudière n'avaient pas été disponibles, le mieux eut été d'employer un moteur électrique. Pour l'éclairage électrique des ateliers, de la salle de réparation et de la station génératrice, on se propose de recourir à une dynamo spéciale fonctionnant à 110 volts et actionnée par un petit moteur à grande vitesse de 8 chevaux, auquel la vapeur sera fournie par la chaudière sous pression pour le service de traction.

Matériel roulant. — Le matériel roulant consiste en sept voitures auto-motrices et deux voitures ordinaires. Quatre voitures sont à quatre roues, chaque paire étant entraînée par un moteur de 7 chevaux, du type Siemens et Halske, à double champ magnétique, avec transmission à simple réduction de vitesse par chaine. Les trois autres voitures sont à boggie : la figure 5 en donne le croquis.



Digitized by Google

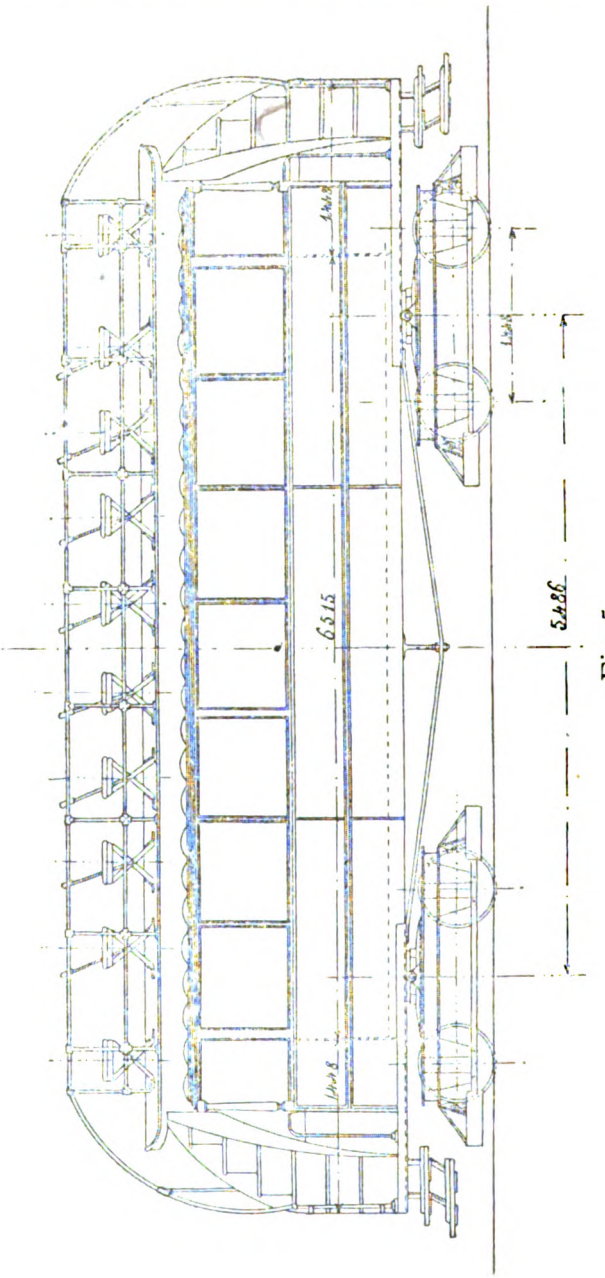


Fig. 5.

Digitized by Google

Chaque boggie possède un électro-moteur de 7 chevaux. Les deux voitures à boggie les plus récentes ont des transmissions par engrenages à simple réduction, et des moteurs du même modèle que les dynamos, type inférieur, de la maison Siemens Bros de Londres. Les armatures de toutes ces machines sont à tambour. Pour ma part, je préfère l'anneau Gramme ou Pacinotti pour les moteurs de tramway. Les balais sont en toile de cuivre et durent trois semaines environ ; des balais en charbon seraient beaucoup préférables et vont être employés.

La transmission par chaine n'est pas un idéal ; elle cause beaucoup de bruit et son entretien est fort coûteux. Une chaine coûte environ 150 francs et ne dure pas six mois ; il faut un mécanisme pour la maintenir tendue, aussi ce mode de transmission n'est-il que fort peu employé.

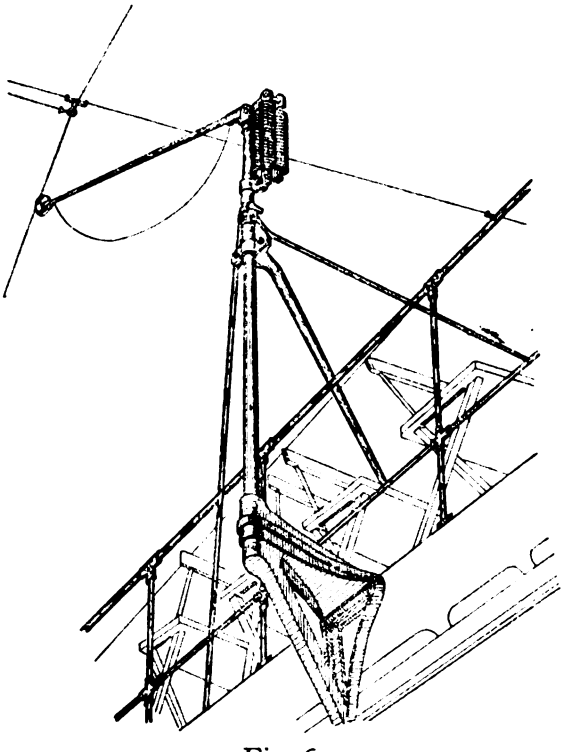


Fig. 6.

Digitized by Google

Le collecteur du courant ou trolley, présente ceci de particulier qu'au lieu de se dresser au milieu du toit de la voiture, il se trouve sur le côté, les voitures étant pourvues d'impériales. Le support vertical, fileté à sa partie inférieure, est fixé sur une console en fonte, attachée au moyen de vis au côté du toit de la voiture (voir figure 6 — vue perspective prise de côté et qui montre clairement le mode d'attache). La tige du trolley pivote dans des coussinets à billes au sommet du support vertical. Sa partie supérieure, en bois, porte à l'extrémité la fourche supportant la roulette de trolley. A cette fourche aboutit un câble isolé qui conduit le courant aux moteurs. Un schema des connexions reliant les moteurs à la ligne et aux appareils de service est donné ci-après.

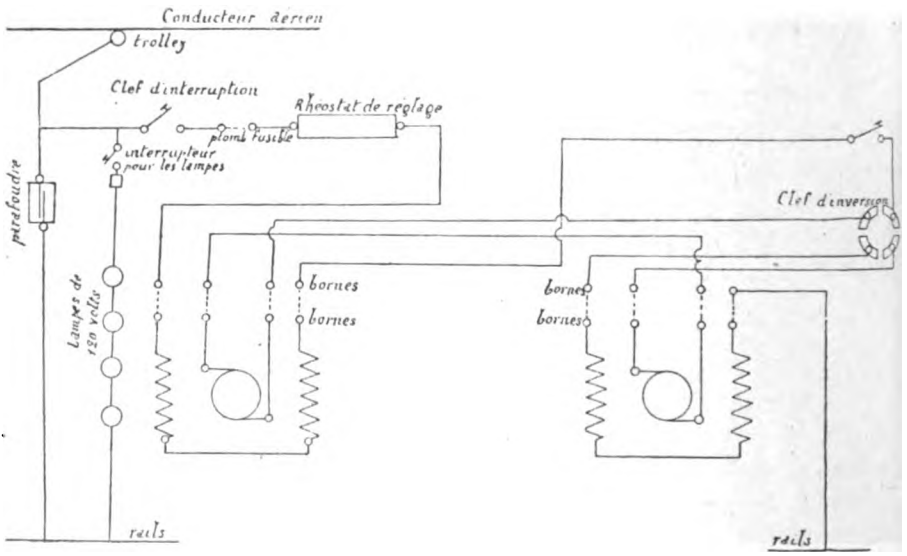


Fig. 7. — **Circuit des moteurs.**

Le réglage de la vitesse s'opère au moyen d'un rhéostat situé en-dessous de la voiture, et composé de fils de fer enroulés en spirale dans des tubes en fer et aboutissant

Digitized by Google

à des contacts en cuivre, sur lesquels glisse un collecteur qu'on peut manœuvrer des deux plateformes, au moyen de manivelles actionnant un câble sans fin en acier.

La clef d'inversion, le parafoudre et l'interrupteur de sûreté se trouvent, dans une petite armoire fermée à clef, sur l'une des plateformes. Le réglage au moyen d'un rhéostat n'est pas économique; il vaudrait mieux employer le système consistant à subdiviser les bobines des électro-aimants inducteurs et à réaliser avec celles-ci, ainsi qu'avec les moteurs, différentes combinaisons en série ou en parallèle pour varier la résistance du circuit.

L'éclairage des voitures est fait au moyen de 4 lampes de 16 bougies et 120 volts, disposées en série.

La lampe de tête est une lampe à huile.

Service. — Le service régulier comporte cinq voitures motrices et une voiture ordinaire; cette dernière demeure à St-Sampson et sert de salle d'attente pour les voyageurs.

Une voiture d'ouvriers fait un trajet aller et retour à 6 heures du matin, et le service régulier commence à 7 h. 25; il continue, avec des départs tous les quarts d'heure, jusqu'à 10 h. 15 du soir et le samedi jusqu'à 10 h. 45. Le dimanche le service est suspendu.

Chaque voiture sert pendant une semaine de voiture de réserve ; pendant ce temps les moteurs sont démontés et nettoyés à fond. Toutes les voitures et les moteurs sont nettoyés et examinés après leur rentrée du soir : trois hommes et un gamin sont occupés à ce travail de 11 heures du soir à 6 heures du matin.

Un moteur à vapeur et une dynamo suffisent pour le service ordinaire, le second groupe de machines servant de réserve.

Les groupes de machines de la station fonctionnent pendant deux semaines.

La nuit on couvre les feux, sauf le samedi où on les laisse éteindre.

Digitized by Google

Les tubes de fumée de la chaudière sous pression sont ramonés chaque nuit.

En moyenne, la consommation journalière de charbon est de 1200 kilogs et la vaporisation d'eau de 8100 litres. Le prix du charbon à Guernsey est moyennement de 25 francs la tonne, rendu à la station génératrice. L'eau employée pour les chaudières est fournie par une source, située au fond d'une ancienne carrière à côté de l'usine, et par l'eau de pluie qui coule des toits des bâtiments voisins.

Ce mélange donne une excellente eau d'alimentation (l'eau de pluie seule occasionne des entraînements d'eau avec la vapeur) et l'on constate fort peu d'incrustation. Pour prévenir complètement cette dernière on fait en outre usage de tannate de soude.

Les tableaux suivants donnent des chiffres intéressants concernant le personnel, le prix d'exploitation par voiture-kilomètre, le parcours journalier, le nombre de voyageurs transportés, etc.

CADRE DES EMPLOYÉS DE LA C°.

Station génératrice. — 3 mécaniciens et 3 garçons apprentis.

Ateliers. — 1 contre-maître, 2 ajusteurs, 1 forgeron, 1 menuisier, 1 peintre, 1 manœuvre, 1 garçon apprenti.

Service de la traction. — 7 cochers ou wattmen, 7 conducteurs, 3 nettoyeurs des moteurs, 2 nettoyeurs des voitures, 1 lampiste.

Service de la voie. — 1 contre-maître, 3 manœuvres.

A ces employés viennent s'ajouter encore le personnel des bureaux, le Directeur et l'Ingénieur.

Nombre total de voitures motrices	8
Nombre moyen de voitures en service	5
Parcours kilométrique moyen journalier par voiture	112 kmt.
Vitesse moyenne en kilomètre par heure, arrêts compris	11 1/2 kmt:

Digitized by Google

Consommation moyenne de charbon par jour	1200 kg.
Consommation moyenne d'eau par jour, en litres	8100 lt.
Charbon brûlé par voiture-km.	2 kg.
Nombre moyen de voyageurs par voiture-km.	4,4
Nombre moyen de voyageurs par voiture-km. les jours de fêtes	8,2
Nombre de voyageurs en semaine au mois d'août	27,162
Nombre moyen d'heures de marche des machines de la station centrale, par jour	17 1/2

La taxe pour toute distance est de 10 centimes, 12 billets sont vendus pour 1 fr., et pour les écoliers et les ouvriers, il y a des abonnements à prix réduits.

PRIX DE REVIENT, EN CENTIMES PAR VOITURE-KILOMÈTRE.

Salaires	4.07
Gages et réparations faites dans la station centrale.	3.97
Gages des wattmen et des conducteurs	10.70
Réparations des moteurs et du matériel roulant, nettoyage	7.78
Entretien de la voie et du conducteur électrique .	1.96
Charbon	4.67
Huile, graissage etc. pour le service de la station centrale	1.53
Huile, pétrole, graissage pour le service des voitures et des ateliers	1.12
Imprimerie et papeterie, timbres etc.	0.43
Total par voiture-kilom. cent.	36.23

Si nous déduisons les frais d'entretien et comptons les frais de traction « Transportation expenses » qui comprennent :

1° *Service de traction.*— Conducteurs, wattmen, inspecteur, aiguilleurs et tous autres employés nécessaires au service des voitures en marche.

Digitized by Google

2° *Remise aux voitures.* — Gages du personnel, nettoyeurs, inspecteurs, veilleurs, manœuvres non employés aux réparations ; chauffage et éclairage, entretien des outils utilisés aux nettoyages.

3° *Graissage du matériel roulant.*

4° *Fournitures électriques et autres de consommation courante* telles que lampes, fils fusibles, balais pour moteurs.

5° *Déblayage de la voie.* — Main d'œuvre pour remettre des voitures déraillées sur la voie, déblayage de la voie en cas d'accident, de neige ou de boue ; sable et sel.

6° *Station génératrice.* — Salaires de l'électricien, des mécaniciens et chauffeurs, nettoyeurs, coût de l'eau employée pour l'alimentation des chaudières et la condensation, lampes, balais de dynamos, plombs fusibles et toutes autres dépenses relatives à l'exploitation des machines ; éclairage.

7° *Charbon brûlé sous les chaudières.*

8° *Huile de graissage pour les machines.*

Nous trouvons que ces frais, dans le cas présent, ne s'élèvent pas à plus de 25 centimes par voiture-kilomètre.

Je crois que les gages sont plutôt plus élevés qu'en Belgique. Ainsi les ajusteurs reçoivent 5 francs par jour, les wattmen 40 centimes l'heure, les conducteurs 35 centimes l'heure, les manœuvres fr. 3-75 par jour ; le charbon et tout le matériel viennent de l'Angleterre ce qui les rend très chers.

Les chiffres précédents diminueront sans doute dans la suite, car la ligne n'a été reprise par la Compagnie de la main des entrepreneurs que depuis quatre mois environ.

Digitized by Google

Diagramme du courant à la station génératrice.

Lectures de l'ampère mètre, un jour de fête, avec 6 voitures motrices sur la ligne voltage compris entre 430 — 550 volts.
Courant moyen 34.6 amp.
Courant maximum 130 amp.
Puissance moyenne en chevaux électriques au tableau de distribution 24.

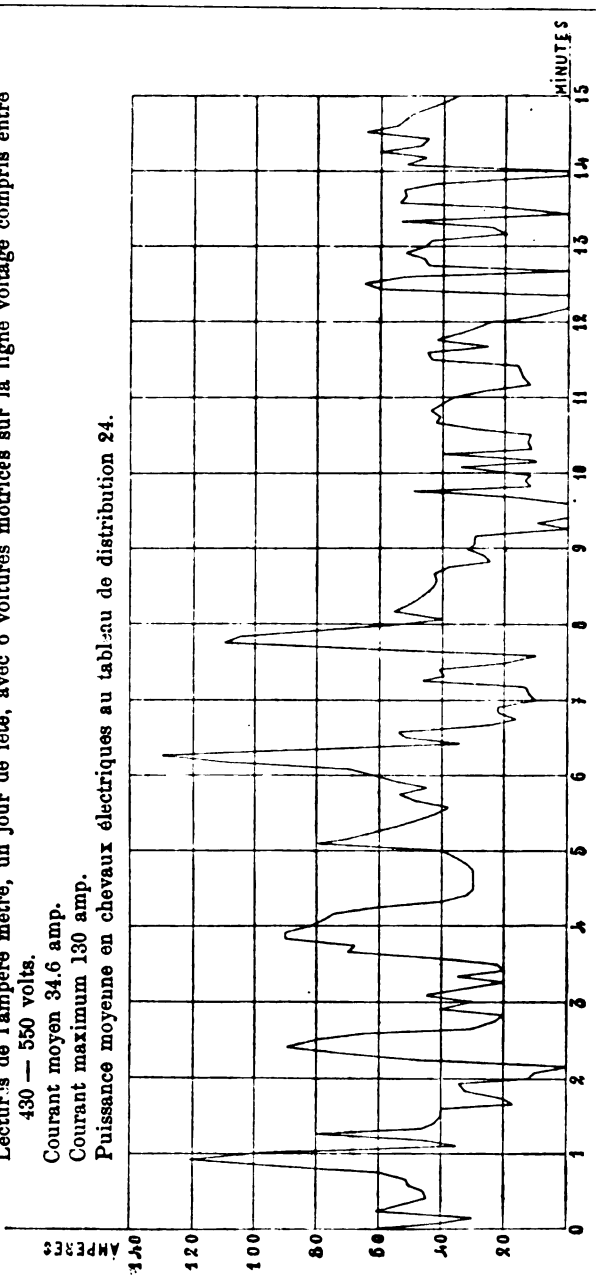


Fig. 8.

Digitized by Google

Le diagramme des variations du courant à la station génératrice donne une idée des mauvaises conditions d'économie dans lesquelles une station centrale de tramway fonctionne. Les variations de charge sont très brusques ; alors que le débit moyen est d'environ 35 ampères, le maximum en atteint 130.

Les installations pour un tel service doivent donc être plus grandes que si les machines travaillaient constamment à leur débit moyen ; de là l'augmentation du capital et nécessité de gagner plus d'argent pour en payer les intérêts ; en outre, mauvaises conditions pour atteindre un rendement élevé.

Je pense qu'on en viendra à employer avec succès les accumulateurs, non sur les voitures motrices, mais dans les stations centrales. Ces accumulateurs seront de préférence du type Planté ; leur capacité pourra être fort restreinte, mais le courant de décharge devra être élevé ; ils seront placés en parallèle sur le circuit, avec un régulateur automatique maintenant la tension sur la ligne aussi constante que possible. Je ne discuterai pas la forme qui conviendra le mieux pour ce régulateur, mais je ferai seulement remarquer qu'un système de ce genre a été employé récemment dans une installation de tramway électrique construite par la «Maschinenfabrick Oerlikon» dans les environs de Zürich.

Une étude approfondie des différents systèmes de traction électrique conduit d'ailleurs à cette conclusion que le seul système qui réussit toujours au point de vue financier est celui à conducteur aérien avec retour par les rails. Ceci est abondamment prouvé aux Etats-Unis où à la fin de l'an dernier on comptait 12.000 kilomètres de tramways électriques et 18.233 voitures, l'ensemble des lignes exploitées par la vapeur, les câbles et les chevaux n'atteignant que la moitié de ces chiffres.

Digitized by Google

M. **L'Hoest** propose à l'assemblée de voter des remercîments à l'auteur de la note qui vient d'être produite. Pour rendre instructive une description d'installation de traction électrique, il ne suffit pas d'examiner dans son ensemble et ses détails la constitution de la voie, des moteurs, des lignes et des génératrices, il faut encore donner les conditions du trafic qui ont présidé au choix du matériel. Sur ce rapport la note de M. Dawson est complète.

Le même membre propose encore de remercier M. De Bast qui a bien voulu se charger d'exposer le contenu de cette note et qui l'a fait avec la lucidité que tous lui connaissent. (*Applaudissements*)

L'ordre du jour appelle la discussion de la communication de M. L'Hoest sur la locomotive Heilmann.

M. **L'Hoest.** — Contrairement à mon attente, le compte-rendu de ma communication n'a pu être distribué avant la séance. Il me paraît donc utile de demander la remise à la prochaine séance de la discussion de cette note. (*Adopté*)

Toutefois, je désire répondre à présent à une demande d'éclaircissement qui m'a été faite au sujet des avantages que j'ai augurés de la relation directe entre le travail et la vitesse du groupe générateur dans le type Heilmann.

On sait qu'une machine à vapeur donnée, marchant à une vitesse et à une pression déterminées, a un maximum de rendement correspondant à un degré d'admission également déterminé. Si la vitesse est portée à une valeur plus élevée, les conditions d'admission à rendement maximum varient peu. En effet, si d'une part certaines circonstances, telles que la perte de charge plus grande dans les conduites, réclament une plus grande période d'admission, d'autre part, d'autres phénomènes tels que la condensation agissent en sens inverse; on peut en conclure que, pratiquement, le degré d'admission le plus convenable pour une vitesse donnée le sera encore pour des vitesses sensiblement plus grandes ou plus faibles.

Digitized by Google

La constance du couple ainsi obtenue, les variations du travail seront réalisées par des variations proportionnelles de la vitesse et le rendement restera maximum.

Il en est tout autrement des machines à vitesse constante dans lesquelles la variation du travail ne s'obtient que par une modification de distribution, au préjudice du rendement, lequel n'aura sa valeur maximum que pour une seule valeur du travail développé.

Généralement le travail variable est demandé à vitesse angulaire constante, ce qui oblige, avec des transmissions mécaniques, à donner une vitesse constante aux moteurs à vapeur.

Dans la locomotive mécanique, le problème est plus complexe encore : le travail à développer et la vitesse à imprimer sont deux variables qui sont, en quelque sorte, indépendantes l'une de l'autre.

M. Heilmann a su profiter des propriétés de la transmission électrique, pour s'exonérer des conditions désavantageuses d'une vitesse imposée par d'autres considérations que celle du rendement. La solution qu'il a donnée n'est pas absolument neuve : elle n'est pas moins à signaler comme exemple.

M. **De Bast**, *vice-président*, signale la publication dans l'*Electrician* des règles prescrites par le Board of Trade, pour l'établissement des lignes de tramways électriques avec retour par la terre. Il en propose la publication au bulletin. (*Adopté*).

Il fait part à l'assemblée du don fait par le camarade M. Pierard du traité de téléphonie, dont il est l'auteur et propose des remerciments au donateur. (*Adopté*)

L'assemblée, après nomination de M. De Bast comme troisième membre de la Commission d'examen d'un mémoire, s'ajourne à une prochaine séance.

Digitized by Google

MÉMOIRE.

Mémoire du Professeur Galileo Ferraris sur une théorie des vecteurs rotatoires et des vecteurs alternatifs et sur une application de cette théorie aux moteurs à courants alternatifs.

Extrait des Mémoires de l'Académie royale des Sciences de Turin, série II, tome XLIV. Approuvé dans l'assemblée du 3 décembre 1893. Traduit de l'italien par M. Edmond FRANCKEN.

L'étude de plusieurs appareils de l'électro-technique actuelle et particulièrement l'étude de certaines espèces de moteurs électriques, conduit à la considération de grandeurs alternatives vectorielles. Pour traiter de ces grandeurs, il peut être utile de recourir à un mode de représentation graphique, qui en traduise, non seulement l'amplitude et la phase, mais aussi la direction.

La méthode suivante me paraît réunir, pour l'interprétation et l'exposition élémentaire de beaucoup de phénomènes, les avantages de la simplicité et de l'évidence. Pour en montrer l'usage et l'utilité, je l'applique plus loin aux champs magnétiques et, avec son aide, j'expose une théorie élémentaire des principaux moteurs électriques à courants alternatifs.

I.

Vecteurs rotatoires et vecteurs alternatifs.

1. DÉFINITION. — Nous appelons vecteur rotatoire une grandeur vectorielle, dont la valeur scalaire est constante, mais dont la direction tourne autour d'un axe avec une vitesse uniforme.

Nous nous bornerons ici à considérer des vecteurs rotatoires situés dans un plan donné. Dans ce cas, un vecteur rotatoire est défini par les éléments suivants : *la*

Digitized by Google

grandeur, *le sens*, *la fréquence* ou le nombre de tours par unité de temps, et la *phase*, ou la fraction de tour effectuée à l'origine du temps.

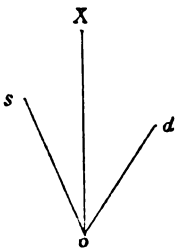


Fig. 1.

En nous donnant séparément la fréquence, nous pouvons représenter un vecteur rotatoire au moyen d'un segment de droite *od* ou *os* (fig. 1), à condition de convenir que la longueur du segment représente la grandeur du vecteur, que sa direction est celle du vecteur à l'origine du temps et que la lettre *d* ou *s* indique le sens, *dextro* ou *sinistro*, de la rotation. Si *o*X est la droite à partir de laquelle on veut mesurer les angles décrits par le vecteur, l'angle X*od* ou X*os* est celui parcouru par le vecteur à l'origine du temps et il est appelé valeur angulaire de la phase. Le rapport $\frac{Xod}{2\pi}$, ou $\frac{Xos}{2\pi}$ est la phase.

Pour dénommer les vecteurs ainsi représentés nous pourrons nous servir simplement des lettres *d* et *s*.

2. Composition de deux vecteurs coplanaires de même fréquence.

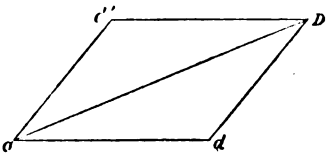


Fig. 2.

Digitized by Google

Premier cas: Vecteurs de même sens. Soient, par exemple, d et d' (fig. 2) deux vecteurs rotatoires de même sens et de même fréquence. A chaque instant leur somme vectorielle ou leur résultante est le vecteur représenté par la diagonale oD du parallélogramme construit sur eux, ou ce qui revient au même, par la droite oD qui ferme le triangle odD ou le triangle $od'D$. Puisque d et d' tournent dans le même sens et avec la même vitesse angulaire, l'angle dod' reste constant. La diagonale oD reste aussi constante et elle tourne autour de o en même temps et avec la même vitesse angulaire que ses composantes. Ainsi la résultante de deux vecteurs rotatoires d'égale fréquence, coplanaires et de même sens, est aussi un vecteur rotatoire de même sens et de même fréquence.

Si l'angle dod' est égal à deux droits, c'est-à-dire si les phases de d et d' diffèrent de 180°, ont dit que d et d' ont des phases opposées. Si les deux vecteurs composants sont de même grandeur et de phase opposée, leur résultante est nulle.

Il serait oiseux de dire comment du cas de deux vecteurs on passe à celui d'un nombre quelconque de vecteurs coplanaires et de même sens et comment on prouve que le vecteur résultant est encore un vecteur tournant dans le même plan, dans le même sens et représenté par la droite qui ferme le polygone des vecteurs composants.

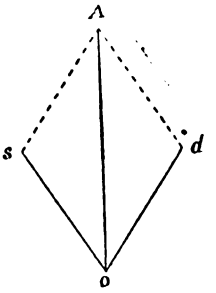


Fig. 3.

Digitized by Google

Second cas : *Vecteurs tournants en sens contraires.* Si les deux vecteurs composants *od*, *os* (fig. 3) tournent en sens contraires, l'angle *sod* varie et par conséquent la diagonale *o*A varie nécessairement, en grandeur tout au moins. En même temps elle peut aussi varier, et généralement elle varie, en direction.

Il y a deux cas à considérer :

a) le cas où les grandeurs *od* et *os* des deux vecteurs composants sont égales entre elles ;

b) Celui où ces grandeurs sont inégales.

3. *a*). Cas où les deux vecteurs composants sont de même grandeur. Dans ce cas la résultante a une direction fixe. En effet la diagonale *o*D (fig. 3) est à chaque instant la bissectrice de l'angle *sod* et comme *od* et *os* tournent avec la même vitesse angulaire, l'un vers la droite, l'autre vers la gauche, elle reste fixe dans l'espace.

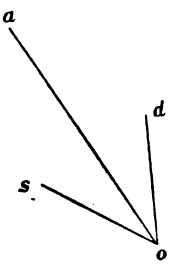


Fig. 4.

Par contre la *valeur* de la résultante varie et elle est reliée à l'angle variale A*od* par la formule

$$oA = 2od \cos \overline{Aod}$$

En posant $oA = a$ et $2od = A$, en représentant la fréquence par n, le temps par t et par α la valeur de l'angle A*od* pour $t = 0$, la relation précédente devient

$$a = A \cos (2\pi nt + \alpha).$$

Une grandeur variable suivant cette loi est ce qu'on appelle communément une grandeur *alternative harmo-*

Digitized by Google

nique ou ***sinusoïdale***. La constante A en est l'*amplitude* et *n* la *fréquence*; l'angle α est la *valeur angulaire de la phase*, si on prend comme origine du temps l'instant où *a* est maximum.

Nous dirons donc que *o*A est un *vecteur alternatif* et nous conclurons que : deux vecteurs égaux, tournants dans un même plan, avec la même fréquence et en sens opposés, ont pour résultante un vecteur de direction fixe, alternatif, et de même fréquence qu'eux mêmes. La direction de ce vecteur alternatif est celle de la bissectrice de l'angle compris, à un instant quelconque, entre les vecteurs composants et par conséquent aussi celle de la bissectrice de l'angle que les deux vecteurs composants font entre eux au temps $t = 0$, ou, selon nos conventions, celle des deux segments de droite qui représentent les deux vecteurs composants.

L'amplitude du vecteur alternatif résultant est égale au double de la grandeur de l'un des vecteurs composants.

Réciproquement un vecteur alternatif sinusoïdal peut toujours être décomposé en deux vecteurs rotatoires de même valeur et de sens opposés. Tout vecteur alternatif sinusoïdal peut être considéré comme provenant ainsi de deux vecteurs rotatoires.

Cette façon d'envisager un vecteur alternatif conduit à une représentation graphique des plus simples, capable d'en indiquer la direction fixe, l'amplitude et la phase. L'artifice consiste à représenter par un segment de droite la direction et l'amplitude du vecteur alternatif et par d'autres segments de droites les vecteurs rotatoires dont il se compose. Si on dessine ces trois segments, on a la représentation indiquée dans la figure 4. Dans cette figure *oa* indique la direction du vecteur alternatif et en donne l'amplitude, tandis que les segments *od* et *os* représentent les vecteurs rotatoires, *dextro* et *sinistro*, en lesquels *oa* se décompose. L'angle *aod*, ou son égal *aos*, représente la valeur angulaire de la phase. Puisque $oa = 2os = 2od$, se trouve sur la bissectrice de l'angle *sod*, un quelconque des

Digitized by Google

segments *oa*, *os*, *o'l* peut être déterminé quand on donne les deux autres et par conséquent on a encore une représentation complète quand on ne fixe que deux d'entre eux. Ainsi nous pouvons représenter le vecteur alternatif simplement par *oad*, ou par *oas*, ou par *osd*.

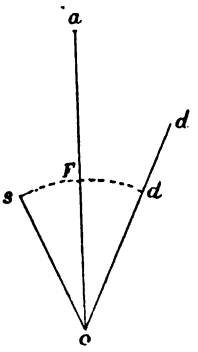


Fig. 5.

4. *b*). CAS OU LES DEUX VECTEURS COMPOSANTS SONT DE GRANDEURS INÉGALES. — Si les vecteurs rotatoires composants, *od* et *os* (fig. 5), ne sont pas égaux, ce n'est plus seulement l'amplitude du vecteur résultant qui varie, mais aussi sa direction. Du centre *o* et avec un rayon égal au plus petit des vecteurs composants, égal à *os* dans le cas de la figure, on décrit l'arc de cercle *s*F*d'*. On peut considérer *od* comme résultant de deux vecteurs *od* et *d'd* tournants dans le même sens. Mais les deux vecteurs rotatoires *od'* et *os* donnent pour résultante un vecteur alternatif *oa* dont la direction se confond avec celle de la bissectrice de l'angle *sod* et dont l'amplitude $oa = 2od' = 2os$. Ainsi les deux vecteurs rotatoires *od* et *os* de sens opposés et de valeurs différentes équivalent à un vecteur alternatif *oa* de direction fixe et à un vecteur rotatoire *d'd*.

5. COMPOSITION DE DEUX OU PLUSIEURS VECTEURS ALTERNATIFS DE DIRECTIONS FIXES. — En nous appuyant sur les considérations précédentes, nous pouvons ramener

Digitized by Google

la composition des vecteurs alternatifs à celle des vecteurs rotatoires.

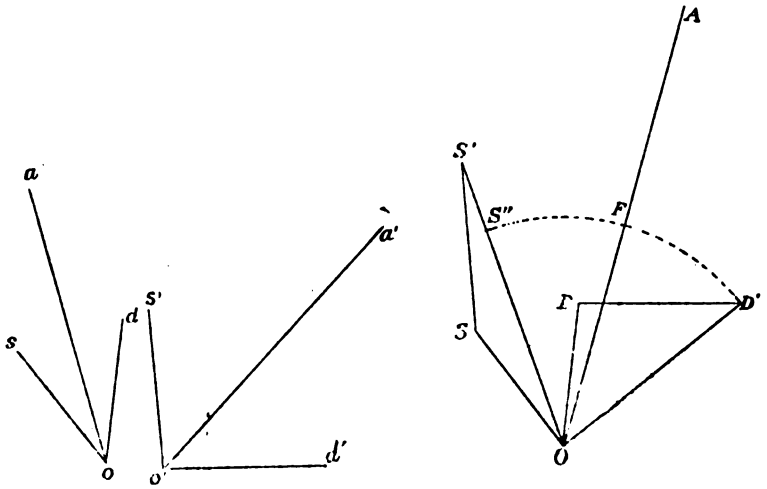


Fig. 6

Si par exemple nous avons deux vecteurs alternatifs de directions fixes *oasd* et $o'a's'd'$ (fig. 6), nous pouvons composer d avec d', s avec s' et puis composer les deux résultantes ensemble de la façon indiquée plus haut. Pour composer d avec d', d'un point O nous menons un segment OD égal et parallèle à d et de D, un segment DD' égal et parallèle à d': OD' est la résultante. De même pour composer s avec s', nous menons OS et SS', respectivement égaux et parallèles à s et à s' et nous tirons la droite OS'. D'après cela nous pouvons dire que le système de deux vecteurs alternatifs donnés, a et a' est équivalent au système de deux vecteurs rotatoires OD' et OS'.

Maintenant aux deux vecteurs rotatoires OD' et OS' nous pouvons appliquer la construction précédente : si OD' est le plus petit des deux, nous prenons OS'' = OD' et, sur la bissectrice OF de l'angle S'OD', nous prenons OA = 2OD' = 2OS''. Les deux vecteurs rotatoires OD'

Digitized by Google

et OS′ et par conséquent aussi les deux secteurs alternatifs a et a' équivalent au vecteur alternatif OA et au vecteur rotatoire S″S′.

Sans plus dire, la proposition peut s'étendre au cas d'un nombre quelconque de vecteurs alternatifs : tout système de vecteurs alternatifs coplanaires et de même fréquence, peut être réduit au simple système d'un vecteur alternatif fixe et d'un vecteur rotatoire. L'opération à faire est encore celle indiquée sur la fig. 6, avec cette seule différence, qu'au lieu des triangles ODD′, OSS′, on devra construire les polygones de toutes les composantes d et de toutes les composantes s des vecteurs donnés.

Il importe d'appliquer cette proposition à des cas particuliers.

6. Cas particuliers.

a. Vecteurs alternatifs de même direction. — Si a' est parallèle à a (fig. 7), les angles OSS′, ODD′, sont égaux entre eux et par conséquent les triangles OSS′ et ODD′ sont égaux. OS′ égale donc OD′. En outre la bissec-

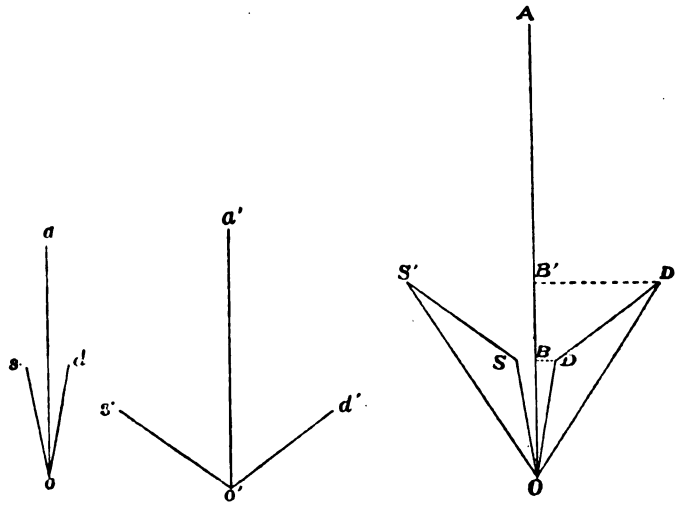


Fig. 7.

Digitized by Google

trice OA de l'angle S'OD' est aussi la bissectrice de l'angle SOD et de l'angle S'S, DD' ; elle est donc parallèle à *oa* et *o'a'*. Ainsi la résultante OA des deux vecteurs alternatifs parallèles *a* et *a'* est aussi un vecteur alternatif fixe et elle est parallèle à ses composantes.

Pour trouver cette résultante, il n'est pas nécessaire d'effectuer toutes les constructions indiquées sur la fig. (7) : il suffit évidemment d'une moitié, par exemple de la partie ODD'. Selon l'interprétation déjà donnée de la figure, les segments OD et DD' représentent la moitié de l'amplitude des vecteurs alternatifs composants. Si nous abaissons les perpendiculaires DB, D'B' sur OA, les *projections* OB, BB' et OB' représentent également les moitiés des valeurs instantanées que les deux vecteurs composants et le vecteur résultant ont pour $t = 0$; et si nous supposons que la figure ODD' tourne autour de O avec une fréquence n, les projections de OD, DD', OD' sur la droite fixe OA représenteront à chaque instant les moitiés des valeurs instantanées des vecteurs eux-mêmes. Mais nous pouvons aussi représenter par OD et DD', non les moitiés, mais les amplitudes entières des vecteurs composants et alors nous aurons immédiatement en OD' la représentation de l'amplitude de la résultante et, dans les projections sur OA, les représentations des valeurs instantanées des grandeurs des trois vecteurs considérés. Nous retrouvons ainsi la construction connue et habituelle, dont on fait usage dans l'étude des grandeurs alternatives. C'est un cas particulier de la construction plus générale que nous avons indiquée.

Les considérations précédentes s'étendent d'elles-mêmes au cas d'un nombre quelconque de vecteurs alternatifs parallèles.

7. *b*. VECTEURS ALTERNATIFS DE DIRECTIONS DIFFÉRENTES. — Si les deux vecteurs alternatifs donnés *a* et *a'* ne sont pas parallèles, la construction générale exposée au § 5 et représentée dans la fig. (6), montrent que les deux vecteurs donnés équivalent à deux vecteurs, l'un

Digitized by Google

alternatif de direction fixe, représenté par OA, et l'autre rotatoire de valeur constante, représenté par S''S'. Mais il y a des cas particuliers où de ces deux vecteurs l'un ou l'autre seulement subsiste.

Le vecteur alternatif de direction fixe subsiste seul quand les deux vecteurs alternatifs composants ont la même phase.

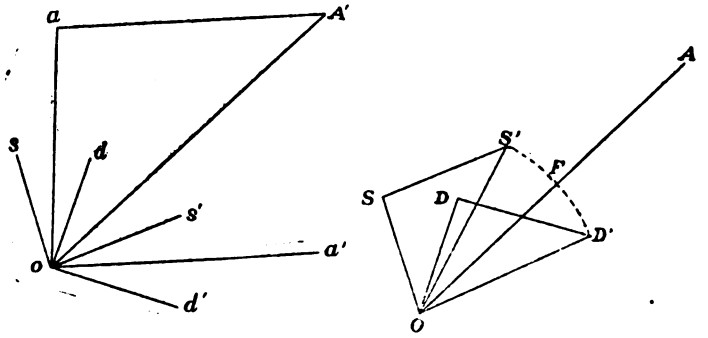


Fig. 8.

En effet, dans ce cas, les angles OSS', ODD' (fig. 8) sont égaux tous deux au supplément de l'angle *aoa'* et sont donc égaux entre eux. Donc les triangles SOS', DOD' sont égaux l'un à l'autre et par conséquent OS' = OD'. On a donc à composer deux vecteurs rotatoires OD', OS' égaux et de sens opposés, qui, comme nous l'avons démontré au § 3, donnent simplement comme résultante un vecteur alternatif de direction fixe.

Cette résultante est représentée par le segment OA, égal à 2OS' et à 2OD' et confondu avec la bissectrice OF de l'angle S'OD'. La phase a la valeur angulaire $S'OA = \frac{1}{2} S'OD' = \frac{1}{2} s'od = \frac{1}{2} s'od'$: elle est égale à la phase des vecteurs alternatifs composants.

Si on mène *a*A', égale et parallèle à *oa'* et si on mène *o*A', on a le triangle *oa*A', qui est semblable au triangle OSS'

Digitized by Google

parceque l'angle a est égal à l'angle S et que les côtés oa, oA' sont égaux au double des côtés OS, SS'. On a donc $oA' = 2OS' = OA$. De plus, des égalités angulaires

$$aoA' = SOS' ; \quad S'OA = \frac{1}{2} S'OD' = \frac{1}{2} sod = soa$$

on conclut que $soA' = SOA$; c'est-à-dire que oA' est parallèle à OA. Par conséquent oA' est égal et parallèle au vecteur résultant oA. Nous dirons donc que : deux vecteurs alternatifs de même phase se composent en un vecteur unique alternatif de même phase, dont l'amplitude et la direction sont représentées par la diagonale du parallélogramme fait sur les droites qui représentent, en grandeur et en direction, les deux vecteurs composants.

8. La composition de deux vecteurs alternatifs donne par contre comme résultante un seul vecteur rotatoire quand l'un ou l'autre des vecteurs rotatoires OD', OS' (fig. 6, § 5) est égal à zéro.

Ce cas se présente quand os et $o's'$ (fig. 6) ou bien od et $o'd'$ ont des grandeurs égales et des directions opposées. Alors en effet le point S' ou bien le point D' coïncide avec O.

La condition $os = o's'$, ou bien $od = o'd'$ implique celle $oa = o'a'$, c'est-à-dire que les amplitudes des deux vecteurs alternatifs soient égales entr'elles.

Ensuite la condition que os et $o's'$, ou bien od ou $o'd'$, aient des directions opposées, implique une relation entre les directions et les phases des deux vecteurs alternatifs oa et $o'a'$. Il est aisé de déterminer cette relation. Supposons (fig. 9) que od' soit de sens opposé à od, appelons α l'angle aoa' des directions des deux vecteurs alternatifs composants et représentons par φ et φ' les valeurs angulaires aod, $a'od'$ des phases des mêmes vecteurs.

On a

$$\alpha + \varphi' - \varphi = \pi , \text{ ou bien } \varphi' - \varphi = \pi - \alpha.$$

Digitized by Google

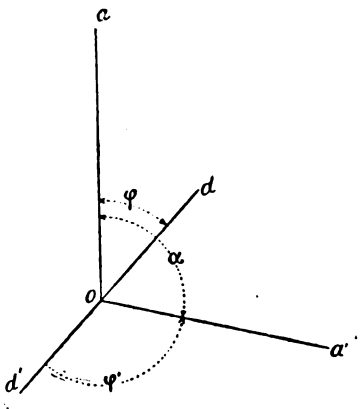


Fig. 9.

Ainsi deux vecteurs alternatifs de direction fixe donnent pour résultant un seul vecteur rotatoire quand ils ont des amplitudes égales et qu'ils présentent une différence de phase dont la valeur angulaire égale le supplément de l'angle compris entre leurs directions.

9. *Exemples.* — Comme premier exemple, considérons le cas de deux vecteurs alternatifs, perpendiculaires l'un à l'autre, *oa*, *o'a'* (fig. 10).

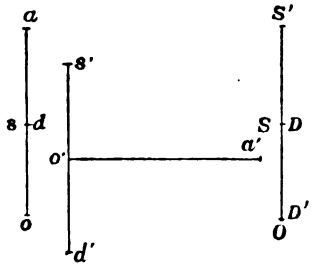


Fig. 10.

Le théorème dit que, pour que ceux-ci se composent en un seul vecteur rotatoire, il faut en premier lieu que

Digitized by Google

$o'a' = oa$. En second lieu, on doit avoir $\varphi' - \varphi = \pi - \alpha$ et, puisque $\alpha = \frac{\pi}{2}$,

$$\varphi' - \varphi = \frac{\pi}{2}$$

Si par exemple nous prenons $\varphi = o$, ou angle $aod = o$, on devra avoir $\varphi' = \frac{\pi}{2}$ ou angle $a'o'd' = \frac{\pi}{2}$

Maintenant, qu'avec ces conditions, les deux vecteurs a et a' ont pour résultant un vecteur rotatoire, c'est ce qu'on vérifie immédiatement en appliquant au cas présent la construction du § 5, fig. 6. En effet pour composer d avec d', on doit mener $OD = od$ et puis $DD' = o'd'$: on est ainsi ramené au point O. Pour composer s avec s' on doit, d'autre part, mener OS et SS', égales et parallèles à os et $o's'$. On trouve la résultante OS', qui représente une rotation levogyre de grandeur égale à $s + s'$, ou à $2s$, ou encore à a et à a'. Ainsi les deux vecteurs alternatifs donnés produisent comme résultant un vecteur rotatoire unique de la même fréquence et de grandeur égale à leur amplitude.

Comme second exemple, considérons le cas de deux vecteurs alternatifs égaux oa et $o'a'$ (fig. 11), dont les directions font entr'elles un angle $\alpha = \frac{3}{4}\pi$.

Dans ce cas, la condition imposée par le théorème établi ci-dessus, est que l'on ait $\varphi' - \varphi = \frac{\pi}{4}$.

Si, par exemple, $\varphi = aod = o$, il faudra que $\varphi' = a'o'd' = \frac{\pi}{4}$. Et en effet, si on applique à ce cas, la construction de la figure (6), on trouve que D' se confond avec O. La résultante se réduit au vecteur rotatoire OS'. Sa grandeur est représentée par l'hypoténuse du triangle rectangle isocèle OSS'; elle est donc égale à $s\sqrt{2}$ ou à $\frac{a}{\sqrt{2}}$

Digitized by Google

10. — Du cas considéré jusqu'ici de deux vecteurs alternatifs composants on passe immédiatement au cas d'un nombre quelconque de vecteurs : un système quelconque de vecteurs alternatifs peut être équivalent à un seul vecteur rotatoire. La condition nécessaire pour que cela ait lieu est simplement que le polygone des composantes *d* ou celui des composantes *s* soit fermé. Un cas particulier important est celui où les vecteurs composants sont égaux et font entre eux des angles égaux. Donnons-nous, dans un plan, N vecteurs alternatifs égaux, dont chacun fasse avec le précédent un angle α, qui ne soit ni π, ni un multiple de π et qui ait, par rapport aussi au précédent, une avance de phase de valeur angulaire égale encore à α. Dans ce cas chacun des vecteurs rotatoires *s* fait avec le précédent un angle $\alpha - \alpha$, ou zéro. Le polygone des *s* a tous ses côtés sur une même droite, la résultante S de tous les *s* est égale à leur somme, c'est-à-dire que $S = N.s$. Par contre le polygone des *d* est un polygone régulier dont les angles extérieurs ont pour valeur 2α ; pour que ce polygone se ferme, il faut et il suffit que N de ces angles fassent un multiple de quatre droits, c'est-à-dire qu'on ait

$$2\alpha N = 2K\pi$$

ou

$$\alpha = \frac{K\pi}{N}$$

K représentant un entier quelconque non divisible par N. Si cette condition est satisfaite, les N vecteurs rotatoires *d* ont une résultante nulle et cela revient à dire que les N vecteurs alternatifs donnés ont pour résultante un vecteur unique rotatoire S. Si nous appelons *a* l'amplitude commune des vecteurs alternatifs donnés, la valeur du vecteur rotatoire résultant sera

$$S = Ns = \frac{N}{2}a.$$

Si au lieu de supposer, comme nous l'avons fait, que chacun des vecteurs donnés a une avance de phase α

Digitized by Google

relativement à celui qu'il précède, nous avions supposé qu'il a un retard de phase, nous aurions trouvé que le polygone des d se réduit à un segment rectiligne $D = nd$; que le polygone des s est fermé et que $S = o$. Dans ce cas, la résultante des N vecteurs alternatifs donnés est un vecteur unique rotatoire D, qui tourne vers la droite.

Nous avons exclu le cas où α serait égal à π, ou à un multiple de π et par conséquent nous avons dit que l'entier K ne devait pas être divisible par N. Si on faisait α égal à π ou à un multiple de π, c'est-à-dire si on prenait K égal à N ou à un multiple de N, les angles externes du polygone des d seraient égaux à 2π ou à un multiple de 2π et le polygone se réduirait, comme celui des s, à un segment rectiligne. Alors on aurait deux vecteurs rotatoires S et D égaux tous deux à $\frac{N}{2}a$ et de sens opposés, lesquels donneraient pour résultante un vecteur alternatif de direction fixe et d'amplitude égale à Na. C'est ce que nous savions déjà, car supposer α égal à π ou à un multiple de π revient à supposer que les vecteurs alternatifs donnés sont parallèles entre eux.

Les cas les plus fréquents dans l'étude des moteurs électriques sont ceux où $K = 2$, c'est-à-dire ceux où les vecteurs alternatifs envisagés sont régulièrement distribués autour d'un axe, à même distance angulaire. Parmi ces cas, il y a lieu de mentionner spécialement celui où $N = 3$. Alors les distances angulaires entre les vecteurs donnés et les valeurs angulaires de leur différence de phase sont égales à $\frac{2}{3}\pi$ ou à 120°. Le vecteur rotatoire, résultant de la composition des trois vecteurs alternatifs, a la valeur $\frac{3}{2}a$. Il est donc égal à une fois et demie l'amplitude de chacun des vecteurs composants.

11. — Tout ce qui précède concerne la composition ou l'addition des vecteurs que nous avons considérés.

Digitized by Google

Pour les applications que nous visons, il convient d'ajouter quelques considérations sur les produits $ab \cos \varphi$, $ab \sin, \varphi$ des amplitudes a et b de deux vecteurs par le cosinus ou par le sinus de l'angle φ que leurs directions font entre elles. De ces deux expressions la première est le scalaire changé de signe et la seconde est le tenseur du vecteur, produit des deux vecteurs a et b.

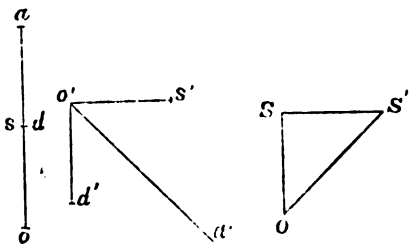


Fig. 11.

Rappelons d'abord la proposition suivante : si on donne deux groupes de vecteurs et si à un instant déterminé a est la grandeur d'un quelconque des vecteurs du premier groupe ; b, celle d'un quelconque des vecteurs du second groupe ; A, la valeur instantanée du vecteur résultant de tous les vecteurs a ; B, celle de la résultante des vecteurs b, φ, l'angle compris entre un vecteur a et un vecteur b et Φ, l'angle de A avec B, on a

$$\Sigma\, ab \cos \varphi = A\, B \cos \Phi,$$
$$\Sigma\, ab \sin \varphi = A\, B \sin \Phi.$$

Pour démontrer la première de ces deux égalités, bien connues d'ailleurs, il suffit de remarquer qu'en appelant Ψ l'angle de A avec l'un des vecteurs b, on a

$$b \Sigma a \cos \varphi = b\, A \cos \Psi,$$

d'où

$$\Sigma\, ab \cos \varphi = \Sigma\, b\, A \cos \Psi = A \Sigma\, b \cos \Psi.$$

Mais $\Sigma\, b \cos \Psi = B \cos \Phi$, donc

$$\Sigma\, ab \cos \varphi = AB \cos \Phi.$$

La seconde égalité, c'est-à-dire

$$\Sigma\, ab \sin \varphi = AB \sin \Phi,$$

se démontre d'une manière analogue.

Digitized by Google

12. — En second lieu nous avons à déterminer des valeurs moyennes des produits $ab \cos \varphi$ et $ab \sin \varphi$ quand les vecteurs a et b sont du genre de ceux qui nous ont occupés jusqu'ici, c'est-à-dire quand ce sont des vecteurs rotatoires ou des vecteurs alternatifs. Et, ici, nous avons à distinguer plusieurs cas.

1er cas. — Si les deux vecteurs a et b sont des vecteurs rotatoires coplanaires, de même fréquence et de même sens, l'angle φ compris entre eux reste constant : il est égal à la valeur angulaire de la différence de phase des deux vecteurs. Si, en outre, conformément à la définition que nous avons donnée du vecteur rotatoire, a et b sont aussi constants, les produits $ab \cos \varphi$ et $ab \sin \varphi$ sont indépendants du temps.

2e cas. — Si a et b sont encore des vecteurs rotatoires coplanaires, mais de fréquences différentes n et m, l'angle φ compris entre eux passe, dans chaque unité de temps, $n - m$ fois de 0 à 2π, c'est-à-dire qu'il varie de 0 à 2π dans l'intervalle de temps $\frac{1}{n-m}$. La valeur moyenne de $\cos \varphi$ et de $\sin \varphi$ durant cet intervalle est égale à zéro et nulle est donc aussi la valeur moyenne des produits considérés.

3e cas. — Un cas particulier, qui rentre dans le précédent, est celui de deux vecteurs tournant en sens contraire : si n et m sont les fréquences des deux vecteurs rotatoires, l'angle φ varie de 0 à 2π dans le temps $\frac{1}{n+m}$ et durant ce temps les valeurs moyennes de $ab \cos \varphi$ et de $ab \sin \varphi$ sont égales à zéro.

4e cas. — Un autre cas particulier est celui où a est un vecteur rotatoire et b un vecteur fixe de grandeur constante. Ce cas se réduit aux précédents en faisant $m = 0$. Ici encore les produits moyens sont nuls.

5e cas. — Si a est un vecteur alternatif de direction fixe et b un vecteur rotatoire, nous pouvons supposer a

Digitized by Google

décomposé en deux vecteurs égaux, tournants en sens opposés, d et s et, nous basant sur le théorème rappelé au § 11, poser

$$ab \cos \varphi = d.b \cos \delta + s.b \cos \sigma$$
$$ab \sin \varphi = d.b \sin \delta + s.b \sin \sigma$$

δ et σ représentent les angles que fait, à l'instant considéré, b avec d et avec s. Nous sommes alors ramenés aux cas précédents.

Si a et b ont des fréquences différentes, les produits $db \cos \delta$ et $db \sin \delta$, comme les produits $sb \cos \sigma$ et $sb \sin \sigma$, ont des valeurs moyennes nulles et par conséquent les valeurs moyennes de $ab \cos \varphi$ et de $ab \sin \varphi$ sont aussi nulles.

Si a et b ont la même fréquence, ce sont seulement les produits $db \cos \delta$ et $db \sin \delta$, ou seulement les produits $sb \cos \sigma$ et $sb \sin \sigma$ qui s'annulent. Les deux autres sont différents de zéro et constants. Si, par exemple, b est un vecteur rotatoire dextrogyre les produits $sb \cos \sigma$, $sb \sin \sigma$ ont une valeur moyenne nulle et les produits $db \cos \delta$ et $db \sin \delta$ sont constants. On a donc tout simplement

$$\text{moyenne de } ab \cos \varphi = db \cos \delta,$$
$$\text{moyenne de } ab \sin \varphi = db \sin \delta.$$

Si on représente par A l'amplitude du vecteur alternatif, on a $d = \frac{A}{2}$ et par suite

$$\text{moyenne de } ab \cos \varphi = \frac{1}{2} Ab \cos \delta,$$

$$\text{moyenne de } ab \sin \varphi = \frac{1}{2} Ab \sin \delta.$$

Si on prend pour origine du temps l'instant où a a la valeur maxima A, l'angle δ, qui figure dans les expressions précédentes, est la valeur angulaire de la différence de phase entre a et b.

6e *cas.* — Finalement si a et b sont deux vecteurs alternatifs de même fréquence, nous considérerons le premier comme résultant de deux vecteurs rotatoires d et s et le

Digitized by Google

second comme résultant de deux autres vecteurs rotatoires d' et s'. En vertu du principe démontré au § 11, les produits $ab\cos\varphi$ et $ab\sin\varphi$ sont, à chaque instant, égaux à la somme de ceux que donnent les combinaisons dd', ds', sd', ss'. Mais en vertu de ce que nous avons déjà dit en parlant du 3e cas, les valeurs moyennes des produits correspondant à la 2e et à la 3e combinaison sont égaux à zéro. Par conséquent en appelant δ l'angle constant de d avec d' et σ, l'angle constant de s avec s', on a

$$\text{moyenne de } ab\cos\varphi = dd'\cos\delta + ss'\cos\sigma,$$
$$\text{moyenne de } ab\sin\varphi = dd'\sin\delta + ss'\sin\sigma.$$

Soient A et B les amplitudes des deux vecteurs alternatifs donnés. Notons que

$$d = s = \frac{A}{2}, \qquad d' = s' = \frac{B}{2};$$

on peut donc écrire

$$\text{moyenne } ab\cos\varphi = \frac{AB}{4}(\cos\delta + \cos\sigma),$$
$$\text{moyenne } ab\sin\varphi = \frac{AB}{4}(\sin\delta + \sin\sigma).$$

Si de plus, appelant α et β les phases de a et b, nous remarquons que

$$\delta = \varphi + \beta - \alpha, \qquad \sigma = \varphi - \beta + \alpha,$$

nous pourrons encore écrire que :

$$\text{moyenne } ab\cos\varphi = \frac{AB}{2}\cos\varphi\cos(\beta - \alpha),$$
$$\text{moyenne } ab\sin\varphi = \frac{AB}{2}\sin\varphi\cos(\beta - \alpha).$$

II.

Application aux champs magnétiques et aux moteurs électriques a courants alternatifs.

13. — Nous pouvons appliquer les considérations générales exposées jusqu'ici au cas particulier où les vecteurs considérés sont des forces magnétiques.

Digitized by Google

Dans ce cas, les propositions des § 8, 9 et 10 montrent immédiatement comment, au moyen de deux ou de plusieurs champs magnétiques alternatifs, de directions fixes, on peut produire un champ magnétique tournant ; elles montrent donc comment un pareil champ peut être produit à l'aide de deux ou de plusieurs courants alternatifs fixes de phases diverses ; en d'autres termes, ces propositions renferment le principe fondamental des moteurs électriques à courants alternatifs polyphasés.

Réciproquement la proposition du § 3 montre comment un champ magnétique alternatif ou un flux d'induction alternatif peut toujours être considéré comme résultant de deux ou de plusieurs champs, ou bien de deux ou de plusieurs flux de valeurs constantes, tournant les uns vers la droite, les autres vers la gauche. Or, cette façon de considérer un champ magnétique ou un flux d'induction alternatif peut être fort utile pour l'étude des courants induits dans des conducteurs placés dans le champ magnétique et pour l'étude des forces que le champ exerce sur les conducteurs ; elle peut donc se montrer avantageuse pour l'examen des phénomènes qui sont fondamentaux dans beaucoup d'appareils électriques et particulièrement dans les moteurs électriques à courants alternatifs. Pour donner un exemple d'application, nous allons étudier ces dernières machines.

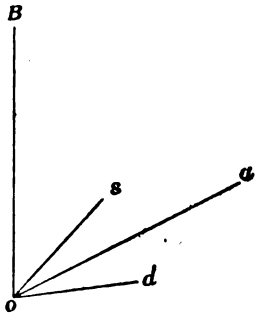


Fig. 12.

Digitized by Google

14. MOTEURS SYNCHRONIQUES. — Considérons d'abord une armature composée d'une seule bobine, dont les spires sont dans des plans perpendiculaires à un axe commun *oa* (fig. 12), et supposons qu'elle puisse tourner dans le plan de la figure, autour d'un axe *o*, à travers un champ magnétique, où l'induction magnétique a une valeur uniforme B et une direction constante *o*B. Si cette bobine est parcourue par un courant électrique elle est équivalente à un aimant d'axe *oa*, dont le moment magnétique s'obtient en multipliant la somme des aires des spires par l'intensité du courant mesuré en unités électromagnétiques absolues. Nous pouvons représenter cet aimant, et par conséquent la bobine parcourue par le courant, au moyen d'un vecteur de direction *oa* et de grandeur égale au moment magnétique susdit. Si le courant est alternatif et de fréquence *n*, le vecteur sera aussi alternatif et de même fréquence et, suivant notre méthode, nous pouvons le représenter par *oasd*. L'emploi de ce mode de représentation revient à substituer à l'aimant alternatif *oa* deux aimants tournants, dont les moments magnétiques seraient représentés par *od* et *os*. En appelant A l'amplitude *oa* et *d* et *s* les grandeurs des deux vecteurs rotatoires *od* et *os*, on a $d = s = \frac{A}{2}$.

Ceci posé, considérons les forces exercées sur la bobine par le champ magnétique où elle se meut. Ces forces se réduisent à un couple, dont le moment est B*a* sin B*oa*. Par suite du théorème rappelé au § 11, il est égal à la somme

$$Bd \sin \delta + Bs \sin \sigma,$$

où δ et σ représentent, comme précédemment, les angles que font avec *o*B, au moment considéré, les deux vecteurs *d* et *s*, tournant l'un à droite et l'autre à gauche.

Si la bobine est au repos, les vecteurs *d* et *s* tournent avec la même fréquence *n*, l'un vers la droite, l'autre vers la gauche et, par suite de ce qui a été dit au § 12

Digitized by Google

(4e cas), les valeurs moyennes des produits Bd sin δ et Bs sin σ sont égales à zéro. Par conséquent nulle est aussi la valeur moyenne du moment du couple considéré.

Si on fait tourner la spirale autour de l'axe o avec une fréquence m, le vecteur oa tourne avec elle et les deux vecteurs od et os se mettent à tourner avec des vitesses angulaires égales à la somme algébrique de celles qu'ils ont relativement à l'armature et de celle qu'ils ont en commun avec l'armature. Si par exemple l'armature tourne vers la droite, le vecteur rotatoire d tourne dans l'espace avec la fréquence $n + m$ et le vecteur s tourne avec la fréquence $n - m$. Mais si m est différent de n, les valeurs moyennes des moments des couples sont encore égales à zéro.

Mais si $m = n$, la fréquence de d devient égale à $2m$ et celle de s se réduit à zéro. Le courant de l'armature équivaut alors à deux aimants de moment magnétique constant, dont un, d, tourne dans le sens de l'armature avec une fréquence double et dont l'autre, s, reste fixe dans l'espace. La direction fixe de ce dernier est celle de l'axe oa de la spirale tournante au moment où le courant qui la parcourt a son intensité maxima. Cette direction fait avec oB un angle déterminé que nous représenterons par ς. Dans ce cas le moment du couple, qui agit sur l'armature, n'a plus une valeur moyenne nulle : alors en effet le moment moyen du couple agissant sur od, c'est-à-dire la valeur moyenne du produit Bd sin δ, est seule égale à zéro ; mais le moment du couple agissant sur os a la valeur constante

$$Bs. \sin \varsigma,$$

ou

$$\frac{1}{2} AB. \sin \varsigma.$$

Ce couple tend à fermer l'angle soB. Si cet angle est, comme sur la figure, à droite de oB, c'est-à-dire du côté vers où tourne l'armature, le couple s'oppose au mou-

Digitized by Google

vement ; il exige une dépense de travail ; l'appareil fonctionne comme dynamo. Si au contraire l'angle B*os* se trouve à gauche de *o*B, c'est-à-dire du côté opposé au mouvement, le couple agit dans le sens de la rotation, il produit un travail ; l'appareil fonctionne comme moteur électrique ; il constitue, sous sa forme la plus simple, un moteur synchronique.

Le couple moteur de cet appareil varie de *o* à $\frac{1}{2}$AB quand τ varie de *o* à $\frac{\pi}{2}$. Pour les valeurs de τ moindres que $\frac{\pi}{2}$ le fonctionnement du moteur est stable. En effet si le couple résistant s'accroît, l'armature se ralentit quelque peu, l'angle τ croît et avec lui croît le moment du couple moteur. Si au contraire le couple résistant faiblit, l'armature tend à accélérer son mouvement ; l'angle τ décroît et avec lui décroît le couple moteur.

(1) Nous avons supposé que l'armature était placée dans un champ magnétique constant : c'est le cas des moteurs synchroniques ordinaires Supposons maintenant que la même armature tourne dans un champ magnétique alternatif de fréquence n, égale à celle du courant de l'armature même.

Le champ alternatif équivaut à deux champs tournants avec la même fréquence n, l'un, D, à droite et l'autre, S, à gauche. Imprimons à l'armature une rotation, par exemple à droite, de fréquence $2n$. Des deux aimants tournants *d* et *s*, auxquels l'armature équivaut, l'un, *d*, tournera alors dans l'espace avec la fréquence $2n + n = 3n$; l'autre, *s*, tournera dans le même sens avec la fréquence $2n - n = n$. La valeur moyenne des couples exercés sur *d* par D et par S et celle du couple exercé par S sur *s* seront nulles ; mais il n'en sera pas de même du couple

(1) La fin de ce § ne figure pas dans le mémoire original. C'est une ajoute due à l'obligeance de l'auteur.

Digitized by Google

exercé sur s par D, puisque s et D tournent tous les deux à droite avec la même fréquence et par conséquent gardent entre eux une distance angulaire constante. Leur couple mutuel sera constant. Il tendra à fermer l'angle qu'ils font entre eux. L'appareil fonctionnera comme dynamo ou comme moteur selon que s précédera ou bien suivra D. C'est une *nouvelle espèce de moteurs synchroniqnes*, possible à réaliser.

Supposons enfin que l'armature soit placée dans un champ magnétique rotatoire, par exemple dans un champ tournant à droite avec une fréquence n. Dans ce cas on a un moteur synchronique en excitant tout simplement l'armature par un courant constant et en la faisant tourner à droite avec la même fréquence n. C'est le moteur synchronique à champ tournant ordinaire. On obtiendrait aussi un couple de rotation constant en excitant l'armature par un courant alternatif de fréquence n égale à celle du champ et en la faisant tourner dans le sens du champ avec une fréquence double.

15. MOTEURS ASYNCHRONIQUES. — *Armature fermée placée dans un champ magnétique tournant.* — Considérons en second lieu une armature fermée de N spires, ou de N bobines élémentaires, fermées sur elles-mêmes en court circuit et disposées régulièrement, à même distance angulaire les unes des autres, dans N plans diamétraux, tout autour de l'axe de rotation. Appelons S la surface ; r, la résistance et L, le coefficient de self-induction d'une bobine. Supposons enfin que l'armature se trouve dans un champ magnétique tournant, où l'induction magnétique, constante et uniforme, a la valeur B et tourne *relativement à l'armature* avec une fréquence u.

Dans la bobine élémentaire, dont la normale fait avec la direction de l'induction B, au temps t, un angle α, passe à cet instant un flux d'induction BS cos α et par conséquent, par suite de la variation de α due à la rotation

Digitized by Google

de B relativement à l'armature, on a dans la spirale une force électromotrice

$$2\pi u \, BS \sin \alpha .$$

Cette force électromotrice produit dans la spirale élémentaire un courant d'intensité i,

$$i = \frac{2\pi u}{\rho} BS \sin (\alpha - \varphi),$$

φ est la valeur angulaire du retard de phase du courant relativement à la force électromotrice, valeur déterminée par

$$tg \, \varphi = \frac{2\pi u L}{r}$$

et ρ est la résistance apparente de la spirale,

$$\rho = \sqrt{r^2 + 4\pi^2 u^2 L^2}.$$

Un tel courant équivaut à un feuillet magnétique de moment égal à iS, c'est-à-dire à

$$\frac{2\pi u}{\rho} BS^2 \sin (\alpha - \varphi)$$

et il peut être représenté par un vecteur dont la direction serait normale au plan de la spire, ou, en termes plus concis, dont la direction serait α.

Si on projette ce vecteur d'abord sur la droite qui fait avec la direction B un angle φ, et puis sur la perpendiculaire à cette droite, on a

$$\frac{2\pi u}{\rho} BS^2 \sin (\alpha - \varphi) \cos (\alpha - \varphi)$$

et

$$\frac{2\pi u}{\rho} BS^2 \sin^2 (\alpha - \varphi),$$

et si on calcule les valeurs moyennes de ces projections pour les valeurs de α comprises entre 0 et 2π, on trouve respectivement pour ces valeurs moyennes zéro et $\frac{1}{2} \frac{2\pi u \, BS^2}{\rho}$.

Digitized by Google

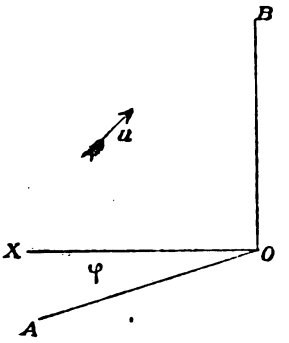


Fig. 13.

Par conséquent les N bobines équivalent dans leur ensemble à un aimant de moment magnétique

$$A = \frac{N}{2} \cdot \frac{2\pi u}{\rho} BS^2$$

dont l'axe ferait avec la direction de B l'angle constant $\varphi + \frac{\pi}{2}$. Cet aimant suivrait B dans sa rotation, en restant en arrière à une distance angulaire $\varphi + \frac{\pi}{2}$. Si dans la figure 13, on suppose que le champ magnétique tourne relativement à l'armature dans le sens de la flèche u et si OX est perpendiculaire à la direction OB de l'induction magnétique, la direction de l'aimant équivalent à l'armature sera OA, direction qui fait avec OX l'angle $XOA = \varphi$.

16. MOTEURS A CHAMP TOURNANT. — Une armature comme celle que nous venons de considérer, placée dans un champ magnétique tournant produit au moyen d'un système de courants polyphasés, constitue un moteur à champ tournant.

Le couple moteur est celui que le champ magnétique exercerait si au lieu de l'armature se trouvait l'aimant considéré précédemment. Le moment de celui-ci est (fig. 13) AB sin AOB. Si nous le représentons par K,

Digitized by Google

on a, en remplaçant A par sa valeur trouvée plus haut

$$A = \frac{N}{2} B^2 S^2 \frac{2\pi u \cos \varphi}{\rho}.$$

En se rappelant que $\cos \varphi = \frac{r}{\rho}$, on peut écrire

$$K = \frac{N}{2} B^2 S^2 r \frac{2\pi u}{\rho^2},$$

ou

$$K = \pi N B^2 S^2 \frac{ru}{r^2 + 4\pi^2 u^2 L^2}. \qquad (1)$$

Dans cette expression la lettre u représente la fréquence du *mouvement relatif* de rotation du champ magnétique par rapport à l'armature. La formule (1) donne la relation qui existe entre le couple de rotation K et la fréquence u et il est aisé de déterminer l'allure de la courbe qui représente cette fonction quand on prend les valeurs de u comme abcisses et celles de K comme ordonnées.

(1) peut s'écrire

$$K = \frac{\pi N B^2 S^2 r}{\frac{r^2}{u} + 4\pi^2 u L^2}.$$

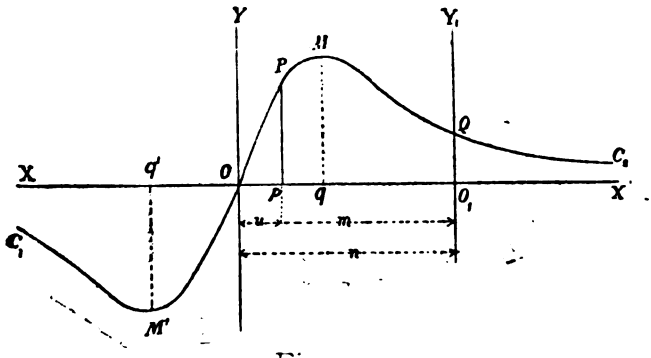


Fig. 14.

On voit que K change de signe, sans changer de valeur quand on remplace u par $-u$; que K s'annule pour $u = o$ et pour $u = \pm \infty$ et qu'il passe par un maximum quand

Digitized by Google

les deux termes du dénominateur, dont le produit est constant, sont égaux entre eux, c'est-à-dire quand

$$u = \pm \frac{1}{2\pi} \frac{r}{L}.$$

Par conséquent la courbe C_1C_2 (fig. 14) dont les points ont pour abcisses les valeurs de u et pour ordonnées celles de K, se compose de deux branches homothétiques par rapport à l'origine o ; elle passe par cette origine ; est asymptotique des deux côtés à l'axe des abcisses et présent deux points M et M' dont les ordonnées, en valeurs absolues, sont maxima. Ces produits ont pour abcisses $\frac{1}{2\pi}\frac{r}{L}$ et $-\frac{1}{2\pi}\frac{r}{L}$. La valeur maxima des ordonnées est $\frac{\pi NB^2S^2}{2}\frac{u}{r}$. L'origine O est un point d'inflexion et dans la région voisine de O la courbe se confond avec une droite d'inclinaison $\frac{\pi NB^2S^2}{r}$. Les abcisses des points maximum et minimum, M et M', et la longueur du segment de courbe, qui se confond sensiblement avec une droite, croissent en même temps que $\frac{L}{r}$ diminue. A la limite, pour $\frac{L}{r} = o$, les points M et M' sont rejetés à l'infini et la courbe se réduit à une droite passant par l'origine et d'inclinaison égale à $\frac{\pi NB^2S^2}{r}$.

Pour une valeur donnée de u, si on conserve L constant, le couple K varie avec la résistance r. La loi de variation apparaît clairement en écrivant la valeur de K sous la forme

$$K = \frac{\pi NB^2S^2u}{r + \frac{4\pi^2u^2L^2}{r}}.$$

Pour $r = o$ et pour $r = \pm \infty$, K s'annule ; pour $r = \frac{4\pi^2u^2L^2}{r}$, c'est-à-dire pour $r = 2\pi uL$, K est maximum.

Digitized by Google

Comme plus haut, la valeur du maximum est encore $\frac{\pi NB^2S^2u}{2r}$. Il est à remarquer que la valeur de r, à laquelle correspond le maximum de K, est proportionnelle à la fréquence u du mouvement relatif du champ et de l'armature.

17. — Dans ce qui précède nous avons considéré la relation qui existe entre le couple de rotation et la fréquence u du mouvement relatif du champ par rapport à l'armature. Pour trouver la relation existant entre le couple et la vitesse de rotation de l'armature, il suffit d'observer que, si on représente comme d'habitude par n la fréquence du champ magnétique tournant et par m, la fréquence de la rotation de l'armature, c'est-à-dire le nombre de tours que celle-ci fait en 1", on a

$$u = n - m.$$

En portant cette valeur dans la formule (1), on a

$$K = \pi NB^2S^2 \frac{r(n-m)}{r^2 + 4\pi^2L^2(n-m)^2}. \qquad (2)$$

Telle est la relation cherchée.

La courbe correspondant à (2), si on prend comme ordonnées les valeurs de K et comme abcisses celles de m, peut se déduire immédiatement de la courbe C_1OC_2 de la fig. (14): c'est la même courbe, mais rapportée à d'autres axes de coordonnées. En effet portons sur OX' une longueur $OO_1 = n$ et soit p le pied de l'ordonnée d'un point quelconque de la courbe C_1C_2. On a $O_1p = OO_1 - Op = n - u = m$. Par conséquent si on prend le point O_1 comme nouvelle origine des coordonnées, la droite O_1Y_1 parallèle à OY_1 comme nouvel axe des coordonnées et la semi-droite O_1OX, dirigée de la droite vers la gauche, comme partie positive de l'axe des abcisses, la ligne $C_1M'OPMQC_2$ représentera le lieu des points qui ont pour coordonnées les valeurs de m et de K.

La courbe met en évidence les propriétés principales

Digitized by Google

du moteur. Il est utile de distinguer deux cas, celui où $n \leq \frac{I}{2\pi}\frac{r}{L}$ et celui où $n > \frac{I}{2\pi}\frac{r}{L}$.

Dans le premier cas, quand $n \leq \frac{I}{2\pi}\frac{r}{L}$, c'est-à-dire quand $2\pi nL \leq r$, on a $OO_1 \leq Oq$; l'origine O_1 tombe à gauche de q ou en q. Dans ce cas, K a sa valeur maximum pour $m = o$: ce couple moteur est maximum quand l'armature ne tourne pas encore, c'est-à-dire au moment de la mise en marche. Si à partir du repos, ou de $m = o$ on fait croître m, K diminue jusqu'à devenir nul pour $m = n$ et puis négatif pour $m > n$. Le fonctionnement du moteur est donc stable.En effet si le couple résistant croît et si par conséquent m décroit, pP' croit et le couple moteur K croît aussi jusqu'à devenir égal à la nouvelle valeur du couple résistant. Si au contraire le couple résistant diminue et si par suite la vitesse augmente, Pp diminue et le couple moteur K diminue aussi jusqu'à rétablir l'équilibre.

Dans le second cas, quand $n > \frac{I}{2\pi}\frac{r}{L}$, ou quand $2\pi nL > r$, on a $OO_1 > Oq$ et l'origine O_1 tombe à droite de q. Dans ce cas, pour $m = o$, le couple moteur K a une valeur O_1Q moindre que la valeur maximum qM. Si on fait croitre m à partir de zéro, K commence par croître et atteint la valeur maxima qM quand $m = O_1q = OO_1 - Oq = n - \frac{r}{2\pi L}$. Ensuite si m croît encore, K diminue jusqu'à s'annuler pour $m = n$ et à devenir négatif pour $m > n$. Le fonctionnement du moteur est stable pour $m > O_1q$ c'est-à-dire pour $m > n - \frac{r}{2\pi L}$ parcequ'alors, comme dans le cas précédent, un accroîssement du couple résistant, en provoquant une diminution de m, donne lieu à un accroissement de K, grâce auquel l'équilibre se rétablit. Mais pour $m \leq n - \frac{r}{2\pi L}$ le fonctionnement du

Digitized by Google

moteur est instable. En effet, si à un accroissement du couple résistant correspond encore une diminution de m, celle ci donne lieu à une diminution du couple moteur K et par suite à une nouvelle diminution de m et ces effets se répètent et se multiplient jusqu'à ramener le moteur au repos.

Dans tous les cas K s'annule pour $m = n$ et devient négatif pour $m > n$, c'est-à-dire qu'en aucun cas on ne peut faire tourner l'armature avec une fréquence supérieure à celle du courant, sinon au moyen d'un couple moteur appliqué extérieurement à l'arbre, c'est-à-dire avec une dépense de travail. Le couple nécessaire pour cela a son moment maximum quand

$$m = O_1O + Oq' = O_1O + Oq = n + \frac{r}{2\pi L}$$

Dans le second cas considéré ci-dessus, c'est-à-dire quand $2\pi nL > r$, il peut arriver (et, quand n est grand, il arrive fréquemment) que la valeur O_1q de K correspondant à $m = o$ est insuffisante pour le démarrage du moteur. Alors on peut aider le démarrage en insérant dans le circuit de l'armature une résistance non inductive, c'est-à-dire en faisant croître r sans augmenter L. En effet la valeur K_o de K que donne la formule (2) pour $m = o$, valeur qui peut s'écrire

$$K_o = \pi N B^2 S^2 \frac{n}{r + \frac{4\pi^2 n^2 L^2}{r}}$$

est maxima pour $r = 2\pi nL$ et par suite, puisque r est moindre que $2\pi nL$, elle croît quand r croît. L'efficacité de cet artifice pour accroître K_o au moment de la mise en marche est d'autant plus grande que la fréquence n du courant employé est elle-même plus grande et c'est précisément dans les cas de grandes fréquences qu'il peut être nécessaire. Le moteur peut démarrer par lui-même, sans aucun aide, et il a un fonctionnement plus stable quand la fréquence est petite.

Digitized by Google

18. ARMATURE FERMÉE, PLACÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE ALTERNATIF. MOTEUR ASYNCHRONIQUE MONOPHASÉ. — Si on imagine maintenant que la même armature, déjà considérée au § 15, est placée, non plus dans un champ magnétique tournant, mais dans un champ magnétique alternatif de direction fixe, on peut aisément déduire de ce qui a été dit précédemment les phénomènes qui doivent avoir lieu.

Le champ magnétique alternatif équivaut à deux champs tournants en sens opposés. De même les courants induits dans l'armature équivalent à deux aimants tournants en sens opposés ; par conséquent sur l'armature agit un couple égal à la résultante des couples exercés par les deux champs sur les deux aimants. Mais d'après ce qui a été dit au § 12, 3e cas, les valeurs moyennes des couples produits par chacun des champs, sur l'aimant tournant en sens contraire, sont nulles. Par suite la valeur moyenne du moment du couple résultant total, qui agit sur l'armature, est simplemant égale à la différence entre celle du couple que le champ tournant vers la droite exerce sur l'aimant tournant vers la droite, et celle du couple que le champ tournant vers la gauche exerce sur l'aimant tournant vers la gauche. Soient K_1 et K_2 les moments de ces deux couples et soit K le moment du couple résultant qui agit sur l'armature, considéré comme positif quand il est dirigé vers la droite, on aura

$$K = K_1 - K_2 \qquad (3)$$

Les couples K_1 et K_2 se calculent à l'aide de la formule (1) du § 16. Dans ce calcul il faut bien se rappeler que B représente la valeur de l'induction magnétique dans chacun des deux champs tournants en lesquels est décomposé le champ alternatif donné ; il faut donc se rappeler que la valeur maxima de l'induction magnétique dans ce dernier champ est représentée par 2 B. Il faut ensuite substituer dans la formule, à la fréquence u du mouvement relatif, successivement les valeurs u_1 et u_2 correspondant

Digitized by Google

aux mouvements que les deux champs tournants ont *relativement à l'armature*. Dès lors si on suppose que l'armature tourne *vers la droite* avec une fréquence m et si on représente par n la fréquence du champ magnétique alternatif, on aura

$$u_1 = n - m \qquad u_2 = n + m$$

d'où

$$K_1 = \pi N B^2 S^2 \frac{r\,(n-m)}{r^2 + 4\pi^2 L^2 (n-m)^2} \qquad (4)$$

$$K_2 = \pi N B^2 S^2 \frac{r\,(n+m)}{r^2 + 4\pi^2 L^2 (n+m)^2} \qquad (5)$$

et par suite

$$K = \pi N B^2 S^2 r \left[\frac{n-m}{r^2 + 4\pi^2 L^2 (n-m)^2} - \frac{n+m}{r^2 + 4\pi^2 L^2 (n+m)^2}\right] \qquad (6)$$

Les courbes qui représentent les relations existant entre K_1, K_2 et K et la fréquence m de la rotation de l'armature, peuvent être déduites immédiatement de la courbe C_1OC_2 qui, dans la fig. 14 représente l'équation (1).

La courbe C_1OC_2 est reproduite et désignée par les mêmes lettres dans la fig. 15, où, comme dans la fig. 14, le point O est l'origine des u et le point O_1, à la distance $OO_1 = n$ de O, est l'origine des m.

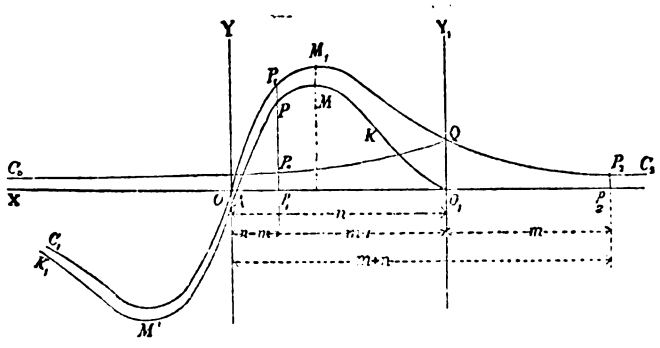


Fig. 15.

Digitized by Google

On prend (fig. 15) $O_1p_1 = O_1p_2 = m$; on mène les ordonnées correspondantes p_1P_1 et p_2P_2 ; on a immédiatement $Op_1 = OO_1 - p_1O_1 = n - m$ et $Op_2 = OO_1 + O_1p_2 = n + m$.

Ainsi les ordonnées p_1P_1 et p_2P_2 représentent respectivement K_1 et K_2. Pour avoir K il suffit de retrancher p_2P_2 de p_1P_1. Si on prend sur p_1P_1 le segment $P_1P = p_2P_2$, le segment restant p_1P représentera K et le point P sera un point du lieu qui donne K en fonction de m, lieu rapporté aux axes de coordonnées O_1X et O_1Y_1.

L'allure de la courbe K se voit encore plus nettement si on dessine en QP_oC_o la courbe symétrique de la portion QP_2C_2 de C_1OC_2, relativement à l'axe o_1Y_1. Alors la valeur de K correspondant à la valeur O_1p_1 de m sera représentée par le segment P_oP_1 compris entre les deux lignes QP_1C_1 et QP_oC_o. L'ordonnée p_1P de K, correspondant à l'abcisse $m = O_1p_1$, est égale à ce segment.

L'examen de la courbe K met en évidence les principales propriétés du moteur. Le moment K du couple qui agit sur l'armature est nul quand $m = o$, c'est-à-dire quand l'armature est au repos. Mais si l'armature tourne, K prend immédiatement des valeurs différentes de zéro et si la fréquence m de la rotation ne dépasse pas la valeur représentée sur la figure par o_1A_1 K est positif, c'est-à-dire que le couple est de même sens que la rotation : c'est un couple moteur. Si, partant du repos, l'armature prend des vitesses croissantes, le couple, nul d'abord, va croissant jusqu'à un maximum et celui-ci une fois atteint si m continue à croître, il diminue rapidement et se réduit de nouveau à zéro quand m atteint une valeur déterminée o_1A, quelque peut inférieure à n. Pour les valeurs de m plus grandes que o_1A, le couple K devient et reste négatif, c'est-à-dire qu'il est de sens contraire à la rotation : c'est un couple résistant.

L'arc décroissant MM' de la courbe correspond à un fonctionnement stable du moteur. En effet si, pendant que

Digitized by Google

l'armature tourne avec la fréquence $m = O_1p_1$ et avec le couple moteur p_1P, le couple résistant vient à s'accroître légèrement et devient supérieur à p_1P, la vitesse de l'armature diminue, O_1p_1 diminue et le couple moteur p_1P croît jusqu'à rétablir l'équilibre. De même si le couple résistant vient à faiblir, l'armature accélère son mouvement, p_1 se déplace vers la gauche et le couple moteur p_1P diminue aussi.

Par contre le fonctionnement du moteur n'est pas stable pour l'arc croissant O_1M de la courbe, c'est-à-dire pour les valeurs de m moindres que celle correspondant au maximum du couple moteur. Ici en effet une diminution de vitesse, due à un excès du couple résistant sur le couple moteur, provoque une diminution de ce dernier et par suite une nouvelle diminution de vitesse, qui se multiplie et se continue jusqu'à l'arrêt complet de l'armature.

La partie décroissante de la courbe K, à laquelle correspond un fonctionnement stable du moteur, a une inclinaison peu inférieure à celle de la courbe voisine C_1OC_2 et l'inclinaison de celle-ci, au point O (§ 16) est égale à $\frac{\pi N B^2 S^2}{r}$. De même le point maximum de la courbe K diffère assez peu de celui de la courbe C_1OC_2 dont l'abcisse est $n - \frac{1}{2\pi}\frac{r}{L}$ (§ 16). Si donc la résistance r est faible, la portion utile de la courbe K a une forte inclinaison et si la self-induction L n'est pas très petite, les valeurs de m correspondantes sont comprises entre des limites très rapprochées. C'est précisément ce qui arrive souvent en pratique : le moteur est bien asynchronique, mais les limites entre lesquelles la vitesse peut varier, en conservant un fonctionnement stable, sont souvent fort rapprochées.

La ligne OP_1OC_1 (fig. 15) est celle qui représenterait la relation du couple moteur et de la vitesse si l'armature au lieu d'être placée dans un champ alternatif, où l'induction

Digitized by Google

magnétique a la valeur maximum 2 B, était placée dans un simple champ magnétique tournant, où l'induction aurait la valeur constante B. Par suite, la fig. 15 met en évidence les analogies et les différences qui existent entre les propriétés d'un moteur asynchronique à champ alternatif et celles du moteur à champ tournant.

Si n n'est pas très petit et si la résistance r de l'armature est comme d'habitude, assez petite, les deux lignes QP_1OC_1 et O_1KPAK_1 courent dans un voisinage étroit pour toutes les valeurs de m supérieures à celle qui la première donne au moteur un fonctionnement stable. Ainsi pour toutes les vitesses compatibles avec la stabilité du fonctionnement, le moteur monophasé se comporte sensiblement comme un moteur à champ tournant ; seulement le couple moteur est un peu plus petit et il s'annule pour une valeur de m un peu moindre que n. Par contre les deux courbes se séparent nettement dans leurs parties correspondantes à de moindres vitesses et la différence caractéristique, qui dérive de là, est que, pour $m = o$, le moment du couple moteur, qui dans le moteur à champ tournant, pouvait avoir une valeur O_1Q encore notable, est nul dans le moteur monophasé : le moteur à champ tournant peut démarrer par lui-même ; le moteur monophasé ne le peut pas.

L'expression (6) du couple moteur d'un moteur monophasé peut être aisément déterminée sans recourir à notre façon de considérer les vecteurs alternatifs ; en effet elle a été établie directement par le docteur J. Sahulka par un procédé purement algébrique [1] et elle est très connue. Mais l'emploi de notre méthode facilite

(1) J. Sahulka, *Théorie der Thomson'schen (Brown'schen) Motoren für gewöhnlichen Wechselstrom*. « Elektrotechnische Zeitschrift » — Berlin, 7 juli 1893, p. 391.

Voir aussi : M. De Bast, *L'alternomoteur asynchronique monophasé de Brown*. « Bulletin de l'Association des Ingénieurs-Electriciens », tome IV, p. 268. Séance du 27 août 1893.

Digitized by Google

l'intelligence des raisons physiques des phénomènes en jeu et met en évidence les relations qui existent entre un moteur à champ alternatif et un moteur à champ tournant. Un moteur à champ alternatif se présente comme un moteur à champ tournant différentiel ; ses propriétés dérivent immédiatement de celles des moteurs à champ tournant.

19. — En outre, diverses considérations se présentent d'elles-mêmes, qui seraient moins aisées à dégager en employant la méthode analytique ordinaire.

Parmi elles, celle-ci qui a rapport à la nature des courants dont l'armature est le siége et aux réactions de ces courants sur les inducteurs. Les courants de l'armature équivalent, comme nous l'avons montré, à deux aimants tournant en sens opposés. Les vecteurs qui représentent ces aimants tournent dans l'espace avec une vitesse angulaire égale et précisément avec la fréquence n du champ magnétique alternatif ; ils équivalent donc (§ 4, *b*) au système d'un vecteur tournant et d'un vecteur alternatif. C'est dire que les courants induits dans l'armature produisent dans l'espace un flux d'induction magnétique, qui peut être considéré comme résultant de la superposition de deux flux, un de valeur constante et de direction tournante et l'autre de valeur alternative et de direction fixe. Nous allons considérer ces deux flux successivement.

Flux tournant. — Le flux tournant est proportionnel à la différence entre les *valeurs absolues* des vecteurs qui représentent les deux aimants tournants équivalents aux courants de l'armature (§ 4, *b*). Il est donc proportionnel à

$$y_1 - y_2$$

en représentant par y_1 et y_2 les valeurs *absolues* correspondant à

$$u = n - m \quad \text{et à} \quad u = n + m$$

valeurs absolues de la fonction y de u, donnée par la formule

$$y = \frac{u}{\sqrt{r^2 + 4\pi^2 u^2 L^2}}.$$

Digitized by Google

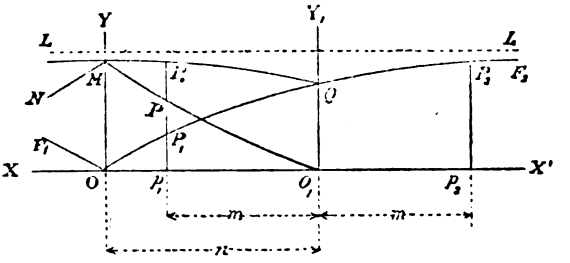


Fig. 16.

Pour se faire une idée de ses variations en fonction de m, il suffit d'étudier l'allure de y. Or y a des valeurs absolues égales pour u et pour $-u$; il est égal à zéro pour $u = o$; il croît avec u et pour $u = \pm \infty$, il tend asymptotiquement vers la valeur limite $\frac{1}{2\pi L}$. Si donc (fig. 16) nous prenons comme abcisses les valeurs de u et comme ordonnées les valeurs absolues de y ; comme origine, le point O et comme direction positive de l'axe des u, la direction OX', nous trouverons la courbe F_1OF_2 qui admet comme asymptote la droite LL parallèle à l'axe des abcisses. Pour trouver $y_1 - y_2$, on prendra $OO_1 = n$ et $O_1p_1 = O_1p_2 = m$. Il en résulte $Op_1 = n - m$, $Op_2 = n + m$ et par suite les ordonnées p_1P_1 et p_2P_2 représentent y_1 et y_2 et on a de suite $y_1 - y_2 = p_1P_1 - p_2P_2 = -(p_2P_2 - p_1P_1)$.

Les variations de cette différence apparaissent clairement si on dessine en QP_0M la ligne, symétrique de QP_2F_2 par rapport à O_1Y_1. Alors on a $y_1 - y_2 = -P_1P_0$. On peut, si on veut, prendre cette longueur en ordonnée et ainsi on trouve que, si on prend le point O_1 pour origine, la droite O_1Y_1 comme axe des ordonnées et la direction O_1X comme direction positive de l'axe des abcisses, $y_1 - y_2$ est représenté en fonction de m par la courbe O_1PMN.

Digitized by Google

Le signe (—) de la valeur trouvée ci-dessus, provenant de ce que $p_2P_2 > p_1P_1$ indique que le flux considéré tourne vers la gauche, c'est-à-dire en sens opposé au mouvement de l'armature. Mais ce flux qui tourne vers la gauche produit dans le métal de la partie fixe de la machine des courants induits sur lesquels il exerce ensuite des efforts tendant à les entraîner dans sa propre rotation, c'est-à-dire vers la gauche.

Par suite, réciproquement les courants induits dans la partie fixe de la machine sollicitent l'armature à tourner vers la droite, c'est-à-dire vers le côté où elle se meut déjà. Il en résulte donc que le flux tournant dû aux courants de l'armature provoque des courants induits, qui aident la rotation et donnent lieu à un couple qui s'ajoute au couple principal dont il a été parlé au § précédent.

La valeur du couple dû aux courants induits varie avec m et croit en même temps que l'ordonnée p_1P de la courbe O_1MN. Elle est nulle pour $m = o$ et maxima pour $m = n$. A cause d'elle, le couple total qui agit sur l'armature, au lieu de s'annuler pour $m = O_1A$ (fig. 15), ne s'annule que pour une valeur un peu plus grande, plus voisine de n.

Flux alternatif. — Le vecteur alternatif résultant de la composition de deux vecteurs rotatoires de sens opposés a une amplitude égale au double du plus petit des deux vecteurs composants (§ 4). Par suite le flux alternatif est proportionnel à

$$\frac{n - m}{\sqrt{r^2 + 4\pi^2 L^2 (n - m)^2}}.$$

Il ne peut s'annuler que pour $m = n$.

Digitized by Google

CHRONIQUE

—

Bibliographie. – *La téléphonie historique, technique, appareils et procédés actuels par M. Emile Piérard.* Liége 1894. — Desoer éditeur. — Sous ce titre, notre camarade a publié un mémoire dont l'ordonnance est celle d'un traité et qui aurait presque droit à ce titre par les développements que l'auteur a donnés à la partie technique de son sujet. Constatons avec plaisir que notre camarade a épargné à ses lecteurs la fastidieuse introduction scientifique par laquelle débutent tant d'ouvrages spéciaux d'électricité.

L'auteur entre donc de plain pied dans le sujet, et après quelques pages concédées à l'historique de la question, aborde l'étude et la description des récepteurs et des microphones.

Les appareils d'appel, les piles employées en téléphonie, le montage des postes, les pantéléphones particuliers et les appareils radiaphoniques sont ensuite passés en revue.

Cette partie de l'ouvrage se trouve plus ou moins complètement traitée dans les ouvrages d'électrotechnique et surtout dans les manuels de téléphonie. Aussi l'auteur, sans se complaire à détailler les innombrables conceptions des inventeurs, s'est-il assez strictement borné à la description des appareils les plus usuels.

Les lignes tiennent dans l'ouvrage la place importante qui leur revient. M. Piérard traite assez minutieusement des conditions mécaniques et des conditions électriques de leur établissement. Cette partie de l'art de l'ingénieur téléphoniste n'est généralement qu'esquissée dans les nombreux manuels qui semblent plutôt faits pour satisfaire la curiosité des lecteurs que pour guider les praticiens. M. Piérard, qui a voulu faire une œuvre vraiment technique, ne les a pas imités.

Digitized by Google

L'appareillage si compliqué et si varié des bureaux centraux et des bureaux publics est décrit avec beaucoup d'ordre et de clarté, dans la dernière partie de l'ouvrage qui, de plus, abonde en nombreux renseignements statistiques se rapportant, pour la plupart, aux exploitations belges.

Le mémoire de notre camarade a été couronné par l'Association des ingénieurs sortis de l'école de Liége. Nous applaudissons à ce légitime succès.

Règlement du Board of Trade sur les conditions d'établissement des lignes de Tramways électriques avec retour par terre. — Différents actes du Parlement anglais promulgués à la dernière session, autorisant l'emploi de la traction électrique pour les tramways, imposent au « Board of Trade » le devoir de prescrire les règles que les compagnies de tramway doivent observer pour prévenir les dégâts aux tuyaux d'eau ou de gaz et réduire au minimum l'interférence avec d'autres circuits électriques. Après avoir entendu les différentes parties intéressées, le Board of Trade a décidé de prescrire des règles dans la forme ci-dessous.

On peut trouver dans « the Electrician » 24 novembre 1893, page 96, l'avant-projet de ces règles.

Définitions. — Dans ce qui suit, l'expression « énergie » signifie énergie électrique « générateur » signifie la ou les dynamos ou tout autre appareil électrique servant à la production de l'énergie.

« Moteur » signifie tout moteur électrique porté sur une voiture et servant à la transformation de l'énergie.

« Tuyau » signifie tout tuyau à gaz ou à eau, ou tout autre tuyau, construction ou substance métallique.

« Fil » veut dire tout fil ou appareil employé en télégraphie, téléphonie, signalisation électrique ou tout autre but semblable.

Digitized by Google

« Courant » s'entend de tout courant électrique dépassant un millième d'ampère.

« La Compagnie » a la même signification que dans les lois relatives aux tramways.

Règles. — I. Toute dynamo employée comme générateur doit être d'un modèle et d'une construction capables de donner un courant continu sans pulsations appréciables.

II. L'un des deux conducteurs employés pour transmettre l'énergie du générateur aux moteurs doit être en tous cas isolé de la terre, et, dans ce qui suit, sera appelé « ligne » ; l'autre peut être complètement isolé, ou bien non isolé dans certains points et jusqu'à certaines limites ainsi qu'il est dit ci-après, et sera dans ce qui suit appelé « retour ».

III. Partout où, soit des rails sur lesquels roulent des voitures, soit des conducteurs posés entre ces rails ou distants de ces derniers de moins de 3 pieds, forment partie d'un retour, ces parties peuvent ne pas être isolées. Toutes les autres parties d'un retour doivent être isolées, à moins qu'elles ne soient d'une section telles quelles puissent réduire la différence de potentiel entre les extrémités de la partie non isolée, en dessous de la limite donnée à la règle VII.

IV. Quand un conducteur non isolé posé entre les rails ou à moins de 3 pieds de distance, forme partie de retour il doit être connecté électriquement aux rails à des distances ne dépassant pas 100 pieds, au moyen de bandes de cuivre ayant au moins un seizième de pouce carré de section ou par tout autre moyen d'égale conductibilité.

V. Quand une portion de retour n'est pas isolée, elle doit être reliée au pôle négatif du générateur et, dans ce cas, le pôle négatif du générateur doit être directement relié à travers l'indicateur de courant mentionné ci-après, à deux prises de terre séparées qui ne seront pas placées à moins de 20 yards de distance l'une de l'autre.

Digitized by Google

Cette règle peut ne pas être appliquée, pourvu que, au lieu de ces deux prises de terre, la Compagnie puisse établir une connexion avec une conduite d'eau d'au moins trois pouces de diamètre intérieur, avec le consentement de son propriétaire et de la personne qui fournit l'eau, et pourvu que, à cause de la nature du sol ou d'autres raisons la Compagnie puisse prouver, à la satisfaction d'un officier-inspecteur du « Board of Trade », que les prises de terre mentionnées ne pourraient être établies et maintenues sans dépenses exagérées.

Les prises de terre mentionnées dans cette régle seront construites et maintenues de manière à assurer le contact avec la masse de la terre et de telle façon qu'une force électro-motrice ne dépassant pas quatre volts soit suffisante pour créer un courant d'au moins deux ampères d'une prise de terre à l'autre en passant par la terre, et un essai sera fait au moins chaque mois pour s'assurer que cette condition est remplie.

Aucune prise de terre ne sera placée à moins de six pieds d'aucun tuyau sauf les tuyaux de distribution d'eau, d'au moins 3 pouces d'intérieur, reliés métalliquement aux prises de terre, avec les consentements spécifiés plus haut.

Lorsque le retour est partiellement ou entièrement non isolé, la Compagnie doit, dans la construction et l'entretien du tramway :

a Séparer de la masse de la terre et de tout tuyau du voisinage, les parties non isolées du retour ;

b En connecter ensemble les tronçons, par les rails.

c Adopter des moyens de réduire la différence de potentiel produite par le courant entre deux points de retour non isolé.

d Maintenir l'effet des prises de terre spécifiées dans les règles précédentes ;

Digitized by Google

Le tout de manière à satisfaire aux conditions suivantes savoir :

i Que le courant passant de la terre au générateur à travers l'indicateur ne dépasse pas, soit deux ampères par mille de voie simple de tramway, soit cinq pour cent du débit total de la station.

ii Que si, n'importe où et quand, un essai est fait en interposant un galvanomètre ou autre indicateur, de courant entre le retour non isolé et un tuyau du voisinage, il soit toujours possible de renverser le courant décélé en interposant une batterie de trois éléments Leclanche reliés en série, si la direction du courant était du retour au tuyau, ou un seul élément si le courant va du tuyau au retour.

Pour assurer par une indication continuelle que la condition (*i*) est remplie, la Compagnie placera dans une position visible un appareil convenable, indicateur de courant bien connecté, correctement gradué, et maintenu en connexion tout le temps que la ligne est chargée.

Les propriétaires de tuyaux peuvent requérir la Compagnie de leur permettre en temps et intervalle raisonnables de s'assurer par des essais que les conditions spécifiées en (*ii*) sont remplies relativement à ces tuyaux.

VII. Quand le retour est partiellement ou complètement non isolé, la Compagnie fera enregistrer continuellement la différence de potentiel, pendant la marche du tramway, entre le point du retour non isolé le plus éloigné et celui le plus rapproché de la station génératrice.

Si à un moment quelconque la différence de potentiel dépasse sept volts, la Compagnie doit immédiatement prendre les mesures nécessaires pour la réduire en dessous de la limite.

VIII. Toute connexion avec un tuyau doit être établie de manière à en permettre facilement la visite et doit être essayée par la Compagnie au moins une fois tous les trois mois.

Digitized by Google

IX. Chaque ligne et retour ou partie de retour isolée, excepté les feeders, doivent être construites en sections ne dépassant pas un demi mille et l'on doit pouvoir isoler chaque section pour en faire l'essai.

X. L'isolement de la ligne ou du retour quand il est isolé, ou des feeders et autres conducteurs doit être maintenu de manière que le courant de perte ne dépasse pas un centième d'ampère par mille de tramway. Le courant de perte doit être contrôlé chaque jour avant ou après les heures de service, lorsque la ligne est en charge. Si l'on trouve une perte dépassant un demi ampère par mille, cette perte doit être localisée et supprimée aussitôt que possible ; la marche des voitures sera suspendue si la perte n'est pas localisée et supprimée dans les vingt-quatre heures. Cette règle n'est pas applicable si la ligne et le retour sont placés dans un conduit.

XI. L'isolement de tous les câbles à isolement continu employé dans les lignes, retours isolés, feeders, ou autres, qui sont mis sous terre, ne doit pas descendre en dessous de 10 mégohms par mille de longueur. Un essai doit en être fait au moins chaque mois.

XII. Dans le cas où une partie du trajet où la ligne est construite aérienne, avec retour sur ou sous terre, il y aurait des fils quelconques placés avant ceux du tramway, dans la même ou presque la même direction, la Compagnie doit, à la requête des possesseurs de ces fils, ou de l'un d'entre eux, leur permettre d'intercaler et maintenir dans la ligne de la Compagnie, une ou plusieurs bobines d'induction ou autres appareils approuvés par la Compagnie, dans le but d'éviter les troubles dûs à l'induction électrique.

Dans le cas ou la Compagnie retire son approbation à tel de ces appareils, les dits propriétaires pourront en appeler au Board of Trade qui pourra, s'il le juge utile, les dispenser de cette approbation.

Digitized by Google

XIII. Tout retour isolé doit être placé parallèlement et à une distance n'excédant pas trois pieds de la ligne, quand tous deux sont aériens (ligne et retour), ou à dix-huit pouces quand tous deux sont souterrains.

XIV. Dans la disposition, connexion et fonctionnement des feeders, la Compagnie doit prendre toutes les précautions raisonnables pour éviter les interférences nuisibles avec les fils existants.

XV. La Compagnie doit construire et maintenir son système de manière à assurer bon contact entre les moteurs et la ligne ou les retours.

XVI. La Compagnie doit employer les meilleurs moyens de prévenir la possibilité d'étincelles anormales aux contacts frottants ou roulants ainsi que dans la construction et l'emploi des générateurs et moteurs.

XVII. Pour la manœuvre des voitures, le courant doit être aussi gradué qu'on le désirera, au moyen d'un rhéostat contenant au moins vingt sections ou toute autre méthode propre à faire graduellement varier la résistance.

XVIII. Lorsque la ligne, ou le retour, ou tous deux sont placés dans un conduit, les conditions suivantes doivent être remplies dans la construction et l'entretien de ce conduit.

a) Le conduit doit être construit de façon à permettre un accès et un examen faciles des conducteurs y contenus de leurs isolateurs et supports.

b) Il doit être construit de manière à être rapidement débarrassé de l'accumulation de la poussière ou autres débris, et l'on ne peut permettre que de semblables accumulations subsistent.

c) Il doit être établi avec une telle pente et relié à des égouts ou autres moyens de drainage, de sorte qu'il puisse se vider automatiquement sans danger que l'eau atteigne le niveau des conducteurs.

Digitized by Google

d) Si le conduit est métallique, les divers tronçons doivent être reliés de manière à assurer un contact métallique pour le passage des courants électriques.

Lorsque les rails font partie du retour, ils doivent être reliés au conduit au moyen de pièces de cuivre ayant une section d'au moins un seizième de pouce carré, ou d'autres moyens d'égale conductibilité, à des distances ne dépassant pas 100 yards. Lorsque le retour est totalement isolé et renfermé dans le conduit, ce dernier doit être relié à la terre à la station génératrice à travers un galvanomètre de haute résistance, approprié à l'indication d'un contact complet ou partiel entre le conduit et la ligne ou le retour.

e) Si le conduit est formé d'une matière non métallique qui ne soit pas d'une haute qualité isolante, perméable à l'humidité, et est placé à moins de six pieds d'un tuyau, un écran non conducteur doit être placé entre les deux, d'une matière et d'une dimension telles qu'elles empêchent le courant de passer de l'un à l'autre sans traverser au moins six pieds de terre ou bien le circuit (conduit?) lui-même doit, dans un tel cas, être enduit de bitume ou d'autre matière imperméable non conductrice, dans tous les cas où il est à moins de six pieds d'un tuyau.

f) Le courant de perte doit être mesuré chaque jour avant ou après les heures de service et la ligne étant pleinement chargée ; et si la perte est trouvée dépasser un demi-ampère par mille de tramway, la perte doit être localisée et enlevée aussitôt que possible ; le service des voitures sera interrompu si elle n'est pas localisée et enlevée dans les 24 heures.

XIX. Les Compagnies, pour autant que cela soit applicable à leur système, doivent tenir des rapports renseignés ci-dessous. Ces rapports seront, quand il sera demandé, envoyés en communication au Board of trade.

Digitized by Google

RAPPORT JOURNALIER.

1. Nombre de voitures en marche ;
2. Courant maximum ;
3. Voltage maximum ;
4. Courant maximum aux prises de terre. (Voir règle VI (*i*) ;
5. Courant de perte. (Règles X et XVIII (*f*) ;
6. Chute de potentiel du retour. (Règle VII.)

RAPPORT MENSUEL.

1. Condition des prises de terre ;
2. Résistance à l'isolement des câbles isolés.

RAPPORT TRIMESTRIEL.

1. Conductibilité des raccords à des tuyaux. (Règle VIII)

RAPPORTS SPÉCIAUX.

1. Essais faits d'après la règle VI (*ii*) ;
2. Localisation et enlèvement des pertes, renseignant le temps employé ;
3. Détails de tout fait anormal affectant la marche du tramway.

6 mars 1894.

Board of Trade, Whitehall-gardens S. W.

(Traduit par F. MÉLOTTE).

Digitized by Google

SÉANCE DU 27 MAI 1894.

Présidence de M. Francken, président.

Ont signé la liste de présence MM. Bouva, Busset, De Bast, Dubois, Ferrand, Francken, Eric Gerard, Horoujenkoff, Julius, L'Hoest, Magenties. Marcovitch, Nieuwland, Piérard, Ransy, Revel Franco, Steels, Vitale.

Les procès-verbaux des séances du 21 janvier, 25 février et 15 avril sont approuvés.

Le président notifie à l'assemblée l'échange du bulletin de l'Association avec les Annales des mines de France.

L'assemblée décide de remettre à une prochaine séance la discussion de la note de M. L'Hoest sur la locomotive électrique de M. Heilmann.

La parole est ensuite donnée à M. **Piérard** qui expose comme suit, le contenu d'une

Note sur le rendement de la bobine d'induction téléphonique.

La mesure du rendement d'une bobine d'induction téléphonique pour les courants téléphoniques, n'a pas encore été réalisée à ma connaissance.

Cette mesure est d'une difficulté insurmontable, si l'on veut s'en tenir aux méthodes usuelles, en raison de l'extrême faiblesse de l'onde téléphonique, de sa complexité et des nombres élevés de vibrations par seconde qu'elle présente.

Si on chante, par exemple, sur la note sol_0 (99 vibrations par seconde) la voyelle *i* caractérisée d'après M. Helmoltz par le $ré_5$ (2376 vibrations) les ondulations du courant correspondant à ce son partiel, qui viendront se greffer sur la sinusoïde du son fondamental, seront au nombre de 2376 par seconde.

Digitized by Google

Quoique présentant donc une grande difficulté, le problème est néanmoins susceptible d'une solution simple et entièrement *téléphonique*, au moyen de la méthode que je vais exposer.

Soit P l'énergie fournie au circuit primaire de la bobine d'induction A_1, P_1, l'énergie qui se retrouve aux bornes de son circuit secondaire.

On a : $$P_1 = K_1 P ,$$

K_1 représentant la valeur du rendement industriel de l'appareil pour la charge P.

Si nous connectons le circuit secondaire de A_1 au circuit secondaire d'une bobine d'induction semblable A_2, l'énergie P_1 va subir une nouvelle transformation, de manière que :

$$P_2 = K_2 P_1 = K_1 K_2 P ,$$

P_2 étant l'énergie disponible dans le primaire de A_2.

Connectons maintenant le primaire de A_2 avec le primaire d'une troisième bobine A_3, l'énergie disponible dans le secondaire de cette bobine sera :

$$P_3 = K_3 P_2 = K_1 K_2 K_3 P .$$

Avec n bobine, nous aurons : $P_n = K_1 K_2 \ldots K_n P$.

En rattachant alors le circuit libre de la bobine A_n à un téléphone, celui-ci va transformer l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie mécanique, sous formes d'ondes sonores. Nous pourrons admettre que les ondes sonores produites par un téléphone à simple pôle sont sensiblement sphériques, en sorte que l'énergie sonore rendue par le téléphone sera proportionnelle au carré de la distance à laquelle ne se percevront plus les sons qu'il rend, dans la direction de son axe.

Posons donc $P_n = K_1 \ldots K_n P = K' l^2$ (1)

l est la distance du téléphone pour laquelle les sons qu'il rend s'éteignent.

Digitized by Google

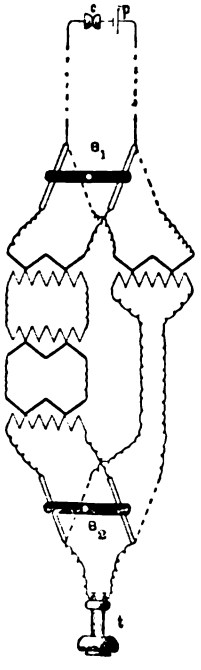
Si maintenant l'énergie P est envoyée dans une autre série de m bobines d'inductions semblables, connectées comme il a été indiqué plus haut et dont le circuit libre de la dernière bobine est mis en relation avec le même téléphone, nous aurons encore :

$$P_m = K_1 K_2 \ldots K_m P = K' l'^2 \qquad (2)$$

l' représentant la nouvelle distance pour laquelle les sons cessent d'être perceptibles.

En divisant (1) par (2), P la charge initiale disparaît et il vient : $\frac{1}{K_{n+1} \ldots K_m} = \frac{l^2}{l'^2}$ (3)

Il est à remarquer que le téléphone doit être connecté dans chaque expérience avec des circuits de même nom, soit deux primaires, soit deux secondaires, des deux séries de bobines. S'il n'en était pas ainsi, il absorberait en effet des quantités d'énergie différentes dans les deux cas et les résultats ne seraient pas comparables. $m - n$ doit donc être pair.



En particulier si $m - n = 2$, nous aurons, en supposant les deux rendements successifs K_{n+1} et K_{n+2} égaux entre eux et à λ :

$$\frac{1}{\lambda^2} = \frac{l^2}{l'^2}$$

$$\lambda = \frac{l'}{l}. \qquad (4)$$

λ représente donc la moyenne géométrique de deux rendements successifs. On le déduit de la simple comparaison de deux distances.

Voici comment j'ai disposé l'installation pour effectuer les expériences. Un microphone c fig. ci-contre (les contacts seulement) est monté avec sa pile p dans une salle éloignée, de manière que les sons qu'on émet devant lui ne puissent être entendus directement des opérateurs Son circuit aboutit à un commutateur à deux

Digitized by Google

manettes B_1, permettant d'envoyer le courant soit dans le circuit primaire de la première bobine d'une série de bobines d'induction dont les circuits semblables sont connectés entre eux, soit dans le circuit primaire d'une seconde série de bobines disposées semblablement. Les axes de ces diverses bobines sont placés successivement à angle droit l'un avec l'autre, pour éviter l'influence magnétique des noyaux.

Les circuits terminaux des deux séries d'appareils de transformation se rattachent à un second commutateur à 2 manettes B_2 qui permet d'envoyer le courant dans un téléphone à simple pôle.

Celui-ci a son axe dirigé suivant l'arête d'une longue table à dessiner, le long de laquelle on mesure les distances obtenues. Un des observateurs compte régulièrement des séries de chiffres devant le microphone.

Voici un tableau des essais effectués :

EN CIRCUIT 6 ET 4 BOBINES					
N^os des expériences →	1	2	3	4	5
l'	52cm	49,5	33,4	45	53
l	110	104	79,8	94,5	138
Valeurs de K	0,472	0,475	0,418	0,476	0,384

moyenne générale 0,445.

Dans une seconde série d'expériences avec 5 et 3 bobines la moyenne s'est élevée à 0,446. Enfin dans une troisième série, où il ne restait plus que 3 et 1 bobines et où les

Digitized by Google

courants microphoniques étaient provoqués soit par le tic-tac d'une montre, soit par les sons d'une sonnerie vibratoire le résultat moyen a été 0,442.

Quoique la charge ait varié dans des limites assez étendues, le coefficient de transformation s'est donc maintenu dans des limites resserrées.

Je crois pouvoir conclure de ces expériences :

1° *le rendement de la bobine d'induction téléphonique, pour les courants téléphoniques, ne varie pas notablement avec la charge ;*

2° *ce rendement est faible et ne paraît pas devoir atteindre 50 %.*

Comme le tableau donné plus haut le montre, la concordance obtenue dans une même série d'expérience est satisfaisante, même avec des observateurs différents (ici au nombre de deux). Quant à l'exactitude de la méthode, elle peut être assez grande. Avec un peu d'habitude on détermine nettement la position où les bruits s'éteignent. On trouve sensiblement le même résultat en s'éloignant progressivement du téléphone ou se rapprochant. J'estime que dans la série d'expérience rapportée plus haut, l'erreur sur la distance ne devait pas atteindre 1 centimètre, ce qui dans la première expérience correspond à une erreur relative maxima possible de 2,5 % environ.

L'essai a été fait avec un microphone Grünenwald et des bobines d'induction du même appareil répondant aux spécifications suivantes :

Résistance du primaire composé de 300 tours en fil de $\frac{70}{100}$ m/m de diamètre, 0°, 6 ;

Résistance du secondaire composé de 4100 tours en fil de $\frac{15}{100}$ m/m, 254°.

Ces deux circuits sont enroulés sur du papier recouvrant un noyau de 0cm75 de diamètre, composé de minces fils

Digitized by Google

de fer doux de 7 centimètres de long. Deux joues en bois de 1 centimètre de largeur limitent l'espace où sont enroulés les circuits qui forment donc des bobines de 5 centimètres de longueur.

On peut évidemment simplifier l'application de la méthode, en supprimant la plus courte des deux séries d'appareils de transformation. Le commutateur B_1 est alors interposé entre le pénultième et l'antépénultième de ceux-ci.

***

La conclusion que le rendement téléphonique de la bobine d'induction téléphonique ne paraît pas varier sensiblement avec la charge semblera sans doute étrange, si l'on se rappelle que le rendement des transformateurs industriels varie, lui, beaucoup suivant la puissance qu'ils débitent.

Mais il ne faut pas perdre de vue qu'en téléphonie les conditions sont très différentes de la pratique industrielle. Le circuit primaire de la bobine y fonctionne avec des courants extrêmement variables, faibles et ne s'inversant pas.

De fait, j'ai bouclé une à une, en série, et par leurs circuits de même nom, des bobines d'induction semblables dont le premier primaire était actionné par des courants téléphoniques et le dernier circuit connecté avec un téléphone et j'ai pu constater une extinction bien graduelle des sons. Leur extinction n'a été complète qu'à la vingtième bobine.

Incidemment je ferai remarquer qu'en admettant un cœfficient constant de 0,44, cette expérience indique que l'énergie minima capable d'actionner le téléphone, est égale à la $(0,44)^{19} = 0,000\,000\,16$ partie environ de celle qui est engendrée dans le primaire du microphone.

Cette proportion fantastique explique la portée énorme que peuvent atteindre les transmissions téléphoniques.

Digitized by Google

Je rapporterai une dernière expérience, qui montre bien que le rendement téléphonique de la bobine d'induction, n'est pas influencé par des facteurs qui altèrent dans une large mesure le rendement des transformateurs industriels.

En communiquant à grande distance et me plaçant dans des conditions extrêmes pour mieux saisir les différences (200 kilomètres de ligne en fil de fer et interposition de trois bureaux centraux) je pouvais fermer complètement le circuit magnétique de la bobine d'induction employée (à l'aide d'un faisceau de fils de fer doux semblables à ceux composant le noyau) ou l'ouvrir, sans que mon correspondant pût saisir aucune différence dans la qualité des sons transmis.

Pour terminer, je tiens à remercier mon collègue Colard qui a bien voulu m'assister dans mes expériences. Si celles-ci n'étaient pas bien difficile à réaliser, elles présentaient néanmoins quelque incomodité, en raison de l'heure avancée à laquelle elles devaient s'exécuter. Quoique opérant au troisième étage de l'Hôtel des Postes et Télégraphes, nous n'avons pu nous trouver dans des conditions suffisantes de calme ambiant qu'à partir de minuit et demi. (*Applaudissements*).

M. **Francken,** *président*, met en discussion la communication de M. Piérard.

M. **Julius,** demande quelle était la nature du son employé pour l'expérience.

M. **Piérard.** — En général, nous avons expérimenté avec la voix humaine ; mais lorsque le nombre des bobines était réduit à un et trois, les sons étaient trop intenses eu égard aux dimensions de la salle. Nous avons employé, dans ce cas, le son du tic-tac d'une montre et celui d'une sonnerie vibratoire.

M. **L'Hoest** propose l'ajournement à une prochaine séance de la discussion de la note de M. Piérard, afin

Digitized by Google

qu'on en puisse examiner au préalable le contenu, qui sera reproduit au bulletin.

M. Piérard appuie cette proposition; il voudrait que cette méthode de mesure, qu'il compte utiliser pour l'étude de questions plus importantes, soit soumise à un examen critique approfondi. (*Adopté*).

M. **Francken**, *président*, remercie M. Piérard de l'intéressante communication qu'il vient de faire.

Il expose ensuite les principes de la théorie (due à M. le Professeur Ferraris) des vecteurs rotatoires et les vecteurs alternatifs, appliquée à l'étude des moteurs à courants alternatifs.

Ces principes sont exposés dans le mémoire original dont une traduction de M. Francken a paru dans le fascicule n° 5-6 du bulletin.

La séance est levée à midi.

Digitized by Google

CHRONIQUE

Informations. — Nous apprenons le mariage de notre camarade M. Pandia Scaramanga avec Mlle Mary Troupin.

L'unification des filetages. — C'était un heureux progrès dans la construction, que l'adoption de plus en plus généralisée en Europe d'une jauge unique pour le filetage des vis et boulons. Peut-être a-t-on eu tort de choisir à cette fin une règle formulée sur le système des mesures anglaises, la règle de Whitworth, mais, en somme, son adaptation au système métrique n'a rencontré aucune difficulté que nous sachions.

Chose étrange, c'est aux Etats-Unis, où les mesures anglaises sont encore d'application générale, que s'est produite la règle de Sellers, en concurrence avec celle de Whitworth ; aujourd'hui la première est presque seule connue en Amérique, tandis que la seconde est suivie presqu'exclusivement en Angleterre, en Allemagne et en Belgique. La France, où les types les plus variés étaient usités, vient à son tour d'introduire un système nouveau, conçu par une Commission dite *des filetages*; ce système qui présente beaucoup d'analogie avec celui de Sellers, s'en écarte tout juste assez pour former un type particulier.

A une époque où tant d'efforts sont faits en vue de l'unification des mesures, nous ne pouvons que regretter l'apparition de ces nouveaux étalons, dont l'usage doit rester confiné au seul pays qui les a produits comme œuvre nationale.

Voici à titre de renseignements quelques données sur les trois règles de Whitworth, de Sellers et de la Commission des filetages.

Dans la première, la section des filets a la forme d'une suite de triangles isocèles, dont l'angle au sommet est

Digitized by Google

de 55°; à un sixième de la hauteur, les triangles sont raccordés entre eux par des arcs de cercle. Aux cinq sixièmes, les filets sont abattus et arrondis.

Des triangles équilatéraux raccordés par des traits droits, parallèles à l'axe du boulon, à un huitième de la hauteur, et dont le sommet est abattu sans arrondi aux sept huitièmes de la hauteur, caractérisent la section du filetage Sellers.

Le nouveau filetage français prend ce tracé comme limite géométrique qui ne peut être franchie en pratique.

Le pas Whitworth, exprimé en millimètres, résulte de la formule

$$h = 1 + 0.08\,d \quad (1)$$

d étant le diamètre extérieur du filet, généralement égal au diamètre du corps du boulon.

Dans le système Sellers, ce pas est donné par la formule

$$h = 1{,}208\sqrt{d + 16} - 4{,}43. \quad (1)$$

La Commission du filetage néglige, dans son système, les fractions inférieures au demi-millimètre pour le pas. Ce pas n'est donc pas déterminé par une formule, mais sa valeur est inscrite dans un tableau que nous reproduisons en partie, en opposant à ces chiffres, ceux qui résultent de l'application des formules ci-dessus.

Diamètre des boulons	PAS *Witworth*	PAS *Sellers*	PAS *Français*
6 millimètres	1.48	1.24	1
10 »	1.80	1.73	1.5
12 »	*1.96*	*1.96*	1.5
14 »	2.12	2.18	2
18 »	2.44	2.61	2.5
24 »	2.92	3.21	3
30 »	3.4	3.76	3.5
64 »	6.12	6.37	6

(1) Reuleaux. — Le constructeur.

Digitized by Google

80 millimètres	*7.40*	*7.40*	7
96 »	8.68	8.35	8
148 »	12.84	11.04	10.5

Voilà ce qu'aujourd'hui on appelle unifier !

G. L.

Bibliographie. — Le grand développement de l'emploi des courants alternatifs donne un caractère tout spécial à chaque ouvrage qui traite le sujet d'une manière approfondie. Nous croyons donc être utile à nos lecteurs en énumérant les sujets traités dans le livre de MM. F. Loppé et R. Bouquet, intitulé « Traité pratique et théorique des courants alternatifs industriels » et dont le premier volume (partie théorique) vient de paraître (chez M. E. Bernard et Cie, éditeurs, à Paris).

Le premier chapitre contient les notions fondamentales des forces électromotrices et des courants variables, avec application aux extra-courants.

Le second chapitre commence par une étude purement mathématique des fonctions périodiques ; les intégrales déterminées qui se présentent continuellement dans chaque problème relatif aux courants alternatifs et quelques théorèmes goniométriques y sont traités d'une façon systématique; cela nous semble une idée très heureuse de réunir ainsi dans un chapitre séparé les solutions de problèmes algébriques, afin d'éviter des calculs fastidieux dans chaque application qui les suscite.

Les auteurs donnent ensuite une nouvelle méthode algébrique générale pour la résolution de certaines équations. On sait que l'application des lois de Kirchhoff et d'Ohm à un circuit dans lequel la force électromotrice résultante est une fonction périodique simple, donne toujours lieu à une équation finale, qui ne contient que quatre termes périodiques différents; les auteurs donnent la solution générale de cette équation, et montrent dans la suite de leur ouvrage comment nombre de problèmes sont simplifiés par l'emploi de cette méthode générale.

Digitized by Google

Les circuits simples, contenant self-induction ou capacité, ou toutes les deux réunies, les circuits dérivés avec impédances différentes (avec application à la théorie du wattmètre), l'annulation mutuelle de la self-induction et de la capacité font, dans les paragraphes suivants, l'objet d'une étude algébrique approfondie.

Les résultats des études de M. Boucherot connus des lecteurs de la *Lumière Electrique*, et la théorie du condensateur transformateur, un appareil d'une simplicité remarquable, qui permet d'obtenir des tensions limitées seulement par la résistance du diélectrique, sont ensuite exposés.

Après la considération de quelques cas simples d'induction mutuelle, les auteurs donnent la théorie générale des transformateurs — d'abord sous la forme due à Clerk Maxwell, puis selon la méthode de Hopkinson. Ils démontrent qu'il existe, pour chaque transformateur, une fréquence qui permet d'obtenir un rendement maximum. La théorie est ensuite étendue au transformateur à double circuit secondaire.

Quelques paragraphes sont consacrés à la méthode graphique de Blakesley ; on y trouve la solution géométrique de presque tous les cas qui avaient été étudiés à l'aide de l'analyse algébrique.

Le dernier paragraphe de ce chapitre mérite une attention spéciale : il contient la théorie d'un conducteur dont la capacité est uniformément répartie sur toute la longueur ; dans ce cas, les phénomènes deviennent singulièrement complexes car, à la périodicité dans le temps, s'ajoute une périodicité dans l'espace ; leur étude est du plus haut intérêt pratique.

Dans le troisième chapitre, les auteurs donnent les principes du fonctionnement des alternateurs à courants monophasés et polyphasés, ainsi que de leur couplage. La théorie du champ tournant est fort bien exposée. Les différentes méthodes de montage des circuits pour

Digitized by Google

courants polyphasés sont ensuite examinées, et comparées au point de vue des pertes dans les lignes ; à côté des procédés bien connus de MM. Tesla, Leblanc et Hutin, nous trouvons une nouvelle méthode, suggérée par les auteurs, pour obtenir des courants décalés, à l'aide d'un transformateur à double circuit secondaire, ou d'un transformateur condensateur.

Les perturbations dans les lignes à courants biphasés et triphasés, provenant de l'inégale répartition des charges, font l'objet d'une étude approfondie ; la conclusion, qu'en cas de grande variabilité dans les charges, le montage en triangle se prête beaucoup mieux à l'obtention d'une tension uniforme que le montage en étoile sans fil de retour, déterminera souvent le choix du premier système.

La théorie des transformateurs à courants polyphasés, surtout au point de vue de leur circuit magnétique, et la théorie des transformateurs de courants polyphasés en courant continu (parmi lesquels le nouvel appareil extrêmement ingénieux de MM. Leblanc et Hutin) terminent ce chapitre.

Le chapitre suivant est consacré à la théorie des moteurs à courants alternatifs et rotatoires ; il mérite une lecture très attentive, et se distingue par la classification judicieuse et la clarté parfaite du raisonnement. Disons cependant que les auteurs n'envisagent ici que des moteurs idéals, sauf pour les moteurs à champ tournant, où il a été tenu compte des réactions d'induit. C'est déjà un grand pas pour concilier la théorie et la réalité des phénomènes compliqués qui se produisent dans ces appareils.

Les derniers chapitres traitent : de la décharge des condensateurs (la théorie de Lord Kelvin), de quelques phénomènes de haute fréquence, bien connus par les expériences de Tesla ; de l'hystérésis, et des courants de Foucault, qui dans quelques cas simples sont susceptibles d'être calculés, comme les auteurs le démontrent.

Digitized by Google

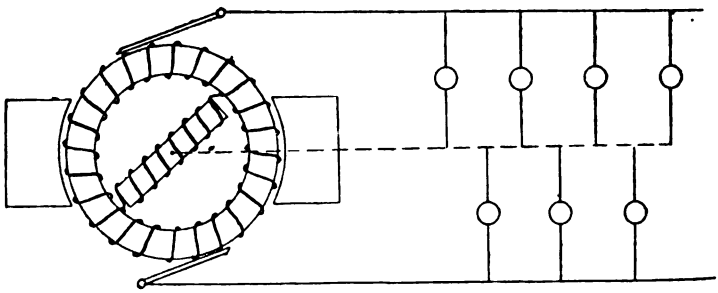
Nous exprimons l'espoir que le second volume ne tardera pas à suivre le premier; nous sommes convaincus que nous y trouverons l'exposé du côté physique et pratique des phénomènes et de l'emploi du courant alternatif, traité avec la même compétence que la partie mathématique. Ainsi complété, le livre sera un guide précieux pour tout électricien que la question intéresse.

C.-H. JULIUS.

Distribution à trois conducteurs à l'aide d'une seule dynamo (*Electrical Review, 1er juin 1894*). — Le système, dû à M. Hopkinson, a l'inconvénient de nécessiter deux générateurs en série, dont le point commun est raccordé au fil du milieu.

Les tentatives faites pour atteindre le même but — l'indépendance des deux circuits — avec une seule machine n'ont pas eu de succès à cause des fortes étincelles provenant de l'emploi d'un troisième balai.

La disposition suivante vient d'être brevetée en France: Le diagramme montre un anneau Gramme ordinaire, à l'intérieur duquel se trouve une bobine, enroulée sur un noyau de fer soustrait à l'action du champ inducteur.



Les conducteurs principaux du réseau sont raccordés aux balais de la machine, le conducteur neutre au milieu de la bobine auxiliaire; celle-ci possède une forte self-

Digitized by Google

induction, et une faible résistance ohmique ; ses extrémités sont fixées invariablement à deux points quelconques mais diamétralement opposés de l'enroulement de l'induit ; il est évident, que la bobine sera parcourue par un courant alternatif (une dérivation du courant principal fourni par la machine), mais cependant l'intensité en sera faible, grâce à l'impédance élevée de la bobine. Le potentiel du milieu de la bobine, c'est-à-dire du point de raccord du fil neutre du réseau, sera toujours la moyenne des potentiels des extrémités de la bobine ; en se rapportant au diagramme, on voit facilement que par raison de symétrie, ce potentiel sera également la moyenne des potentiels des deux balais. Si donc la charge est uniformément répartie, le fil neutre ne sera le siége d'aucun courant. Si l'un des groupes est plus chargé que l'autre, un courant dans un sens ou dans l'autre parcourra le fil du milieu, ainsi que la bobine inductive qui, pour ce courant continu, n'offre presque pas de résistance. La symétrie dans les différences de potentiel ne sera donc pas modifiée ; tout au plus la réaction de l'induit subira des variations.

Il va sans dire que l'on peut fixer la bobine inductive entièrement à l'extérieur de la dynamo : dans ce cas on fera usage de deux bagues sur l'arbre de la machine avec des balais supplémentaires.

L'appareil peut également être employé comme égalisateur de tension, dans les distributions où les génératrices en parallèle développent la tension des conducteurs extrêmes, et où les fils intermédiaires sont limités au réseau, dont les boîtes de jonction ne sont alimentées que par deux feeders. Il fait alors fonction de moteur, et s'oppose aux variations des tensions, absolument de la même manière que les égalisateurs bien connus de E. Thomson.

C. H. Julius.

Digitized by Google

Les chemins de fer électriques. — Nous empruntons à un discours de M. E. Egger devant l'«Elektrotechnischer Verein» de Vienne les détails historiques et techniques suivants :

Quoiqu'actuellement les premières expériences de traction à l'aide de batteries primaires nous paraissent presqu'enfantines, il faut cependant faire mention des efforts du professeur Farmer de Boston qui, en 1851, construisit un petit modèle de voie électrique, où le moteur (alors un appareil bien défectueux), recevait le courant des rails : dans toutes les expériences antérieures la batterie était portée par le véhicule. Un électricien anglais, Pinkus, en 1840, avait déjà fait breveter une disposition qui ressemblait à celle de Farmer. Citons encore les travaux d'un certain major Bessolo, en Autriche, qui employa pour la première fois (1855) un troisième rail, plus tard même le fil aérien comme conducteur d'aller. L'invention de l'armature Gramme et la découverte de la réversibilité des dynamos permirent plus tard de sérieux progrès, qui élevèrent rapidement les expériences de laboratoire au rang de procédés industriels. George Green, aux Etats-Unis, construisit en 1878 ou 1879 le premier véhicule électrique capable de transporter deux personnes.

La voie électrique de Siemens et Halske, qui figurait en 1879 à l'exposition d'industrie à Berlin, peut être considérée comme le point de départ du développement de la traction électrique en Europe. Les deux rails formaient le conducteur de retour pour le courant, qui était amené au moteur par un troisième rail. Le moteur avait son axe dans la direction de la voie, et deux roues côniques transmettaient le mouvement à l'essieu. Le tout était monté sur une petite locomotive, qui remorquait une voiture à vingt places ; la vitesse était de 12 kilomètres à l'heure.

Mais en Europe on resta bientôt en arrière sur l'Amérique, où, grâce aux efforts infatigables de Field, Edison,

Digitized by Google

et d'autres, un tramway électrique fonctionna en 1883 sur une longueur de 1 kilomètre à l'exposition de Chicago. C'était encore une voie à trois rails ; un conducteur spécial de cuivre, raccordé aux rails de retour, augmentait la conductibilité.

Le premier succès réel du fil aérien fut réalisé par M. Van de Poele, pendant que M. Daft appliquait un procédé pour régler la vitesse des moteurs, en variant l'excitation.

D'autre part, la voie de Bentlez et Knigt à Cleveland présentait pour la première fois un câble souterrain, posé dans une conduite en bois.

Beaucoup de perfectionnements notables, particulièrement dans la suspension des moteurs, sont dues à M. Sprague qui établit en 1888 à Richmond un tramway possédant 20 voitures automotrices. Dans cette année il y avait aux Etats-Unis 70 kilomètres de voies électriques, avec 95 voitures ; en 1892, ces nombres étaient respectivement 9,000 et 13,500.

Les progrès des dernières années ont surtout porté sur la perfection des moteurs (construction solide et légère), sur leur suspension, leur régulation, et la transmission du mouvement. On préfère actuellement avoir deux essieux moteurs, ce qui permet de gravir avec facilité des rampes de 13 %, et d'atteindre des vitesses de 30 kilomètres. En Amérique, on a augmenté la capacité des voitures jusqu'à 80 places.

M. Egger donne ensuite la description générale de la construction des voitures de tramway actuelles, construction que nos lecteurs connaissent trop bien pour qu'il soit nécessaire de la leur rappeler.

La régulation à l'aide de différentes combinaisons des bobines inductrices a été abandonnée dans les voitures à deux moteurs : on fait usage de rhéostats, qui permettent de coupler les deux moteurs en série lors du démarrage,

Digitized by Google

lorsque la tension aux bornes est faible et le courant fort. La vitesse normale étant atteinte, les moteurs sont disposés en parallèle.

Il faut prévoir des dispositifs spéciaux pour éviter la production d'étincelles lors de la manœuvre des rhéostats. Il va sans dire que l'emploi de ces résistances artificielles est la cause d'une perte assez considérable.

C'est là la cause principale des résultats peu économiques de la traction électrique: le rendement des moteurs avec simple réduction de vitesse n'est guère supérieur à 60 % et descend jusqu'à 10 % au démarrage. (*)

La substitution de la simple réduction de vitesse à la double réduction, quoique pratiquement un progrès, a cependant ses inconvénients : l'effort de traction exigé de l'induit est presque doublé, si la vitesse des essieux reste la même ; le poids du moteur augmente : l'équipement d'une voiture à deux essieux moteurs pèse maintenant 2,500 à 4,000 kilogs. Dans les voitures automotrices ce poids n'est nullement nécessaire pour l'adhérence, qui est toujours suffisante ; il augmente l'importance des chocs communiqués à la voiture à chaque passage sur un joint des rails, et la fatigue de l'infrastructure est extrême.

M. Egger cite ensuite quelques chiffres donnant une idée de l'importance relative des différents facteurs qui interviennent dans le prix de revient ; leurs valeurs absolues varient considérablement selon les circonstances locales. Il est intéressant de remarquer, que le prix de la production du courant ne forme que 10 % des frais totaux

(*) Nous trouvons dans l'*Electrical Review*, du 1er juin, quelques chiffres intéressants sur le rendement de la traction électrique, à propos d'un article de M. Kennedy, qui a donné lieu a beaucoup de controverses. Selon cet auteur, ce rendement (entre la puissance indiquée de la machine à vapeur et celle disponible aux essieux des voitures) n'est pas supérieur à 35 % ; l'effet utile de la traction à air comprimé est bien meilleur; ce ne sont que les considérations techniques qui font préférer l'électricité, car au point de vue économique celle-ci est encore bien éloignée de la perfection.

Digitized by Google

de l'exploitation. La traction électrique, dans l'état actuel, n'est donc nullement un moyen lucratif de placer des capitaux.

L'auteur exprime comme suit son opinion sur les moyens qui pourraient améliorer l'état des choses :

Emploi d'un seul moteur puissant (jusqu'à 30 chevaux), avec suspension très soignée ;

Couplage des deux essieux, afin de les rendre tous les deux moteurs ;

Emploi de générateurs hypercompoundés, pour faire face aux chutes de tension très considérables sur la ligne ;

Emploi d'un moteur à vitesse constante, qui, pendant les arrêts courts, continue à tourner à vide, grâce à une disposition qui permettrait de découpler l'armature de l'engrenage ; on réaliserait ainsi une économie sérieuse lors du démarrage ; ce dispositif exigerait une transmission réglable, qui est recommandée par M. Egger ; (selon l'article dans l'Electrical Review, déjà cité, ce genre de transmission, quoiqu'essayé à plusieurs reprises, n'a pas encore eu de succès aux Etats-Unis) ;

Sur les rampes on doit éviter le freinage mécanique : le moteur même ferait fonction de frein.

Tout cela n'est réalisable qu'avec un moteur excité en dérivation. La construction d'un tel moteur en vue de l'emploi à la traction électrique est donc le problème principal à résoudre, quand on veut améliorer les conditions de la traction électrique.

Les rhéostats de manœuvre seraient beaucoup simplifiés, et n'entraîneraient plus qu'une perte minime, à savoir au démarrage, seul moment où l'armature doit être mise en série avec une résistance artificielle. L'enroulement en dérivation devrait être pourvu d'un rhéostat.

C.-H. JULIUS.

Digitized by Google

Digitized by Google

SÉANCE DU 29 JUILLET 1894.

Présidence de M. De Bast, vice-président.

Assemblée des membres effectifs.

MM. Francken, président, Grottendieck, trésorier et Dierman, prient l'assemblée d'excuser leur absence ; M. Bourquin s'excuse aussi de son abstention au vote, le bulletin de vote ne lui étant pas parvenu (1).

Le seul article à l'ordre du jour est l'élection du Président pour l'année sociale novembre 1894 à octobre inclus 1895.

Prennent part à cette élection :

MM. Astfalck, Barberis, Bayet, Bède, Bertemati, Bertolini, von Boschan, Broad, Cahen, Calvé, Centurione, Close, Colard, Cruciani, De Bast, Demany, Derclaye, Dethioux, Dewandre, Discry, Firket, Francken, Frenay, Gourgenbekoff, Grottendieck, d'Hoop, Lambert, Larmoyer, L'Hoest, Libert, Loewenstein, Manzi, Mélotte, Minsier, Noé, Nowinski, Orban, Pescetto, Picard, Piérard, Quinaux, Ransy, Roosen, de Ryckere, Sée, van Vloten, du Welz et Winslow.

M. De Bast, ayant obtenu la majorité des suffrages, est proclamé Président.

Assemblée ordinaire.

Ont signé la liste de présence MM. Bouva, De Bast, Derclaye, Firket, Larmoyer, L'Hoest, Markovitch, Mélotte et Ransy.

(1) A cette occasion, le Secrétaire Général croit utile de rappeler que les bulletins de vote peuvent être dressés dans une forme quelconque, à condition que l'authenticité du vote ne puisse être mise en doute. Voir au surplus l'art. 6 des statuts.

Digitized by Google

M. **De Bast**, *vice-président*, communique à l'assemblée la note ci-après de M. Roosen :

Note sur les mesures des coefficients de self-induction de quelques appareils utilisés en télégraphie et téléphonie.

La méthode employée est celle décrite par M. Ledeboer, dans la lumière électrique, tomes XX et XXI, pour l'emploi d'un galvanomètre Deprez-d'Arsonval. Nous la rappellerons brièvement : si l'on fait osciller à circuit ouvert, le cadre galvanométrique d'un appareil Deprez-d'Arsonval, on remarque que le mouvement est rigoureusement périodique. Mais il n'en est plus de même si on ferme le cadre sur une résistance qui n'est pas trop grande. Pour une certaine valeur de la résistance de ce circuit, le mouvement du cadre, toujours apériodique, est sur le point de devenir périodique. C'est cette valeur de la résistance qu'il faut toujours conserver pendant la mesure, au circuit contenant le galvanomètre. Dans ce cas, si une quantité q d'électricité passe à travers le galvanomètre balistique, cette quantité q est reliée à l'angle d'impulsion δ par la formule :

$$q = \frac{T}{\pi} \, e \, \frac{i}{\alpha} \, \delta$$

dans laquelle : T est la durée d'une oscillation simple du cadre galvanométrique à circuit ouvert, e la base des logarithmes népériens = 2,7183, δ l'angle d'impulsion, π = 3,1416, i l'intensité d'un courant qui passant dans le cadre galvanométrique (toujours placé dans les conditions indiquées) fait dévier celui-ci d'un angle α.

La résistance du galvanomètre ayant été déterminée, on a cherché la valeur de la résistance à ajouter à celle du galvanomètre pour que le mouvement du cadre soit apériodique, mais sur le point de devenir périodique, on a trouvé 80 ohms.

La durée d'oscillation du cadre T = 0″,415.

Digitized by Google

Pour mesurer un coefficient de self-induction, on place la bobine dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone dont les autres branches contiennent des résistances sans self-induction. Dans la diagonale renfermant le galvanomètre on a soin de placer un rhéostat qui permette de réaliser la condition indiquée ci-dessus. La branche, qui renferme la bobine dont on veut mesurer le coefficient de self-induction, contient également un rhéostat permettant d'ajouter une petite résistance et de détruire l'équilibre.

On établit donc d'abord l'équilibre pour la période permanente du courant ; puis, on ouvre et on ferme le circuit de la pile, on observe dans le galvanomètre l'impulsion δ provenant des courants de décharge et de charge dûs à la capacité électro-magnétique de la bobine dont on mesure le coefficient de self-induction.

Dans une seconde expérience, on modifie la résistance de la branche qui contient la bobine à mesurer et, si on appelle r la résistance additionnelle et α l'angle de déviation du galvanomètre, on a

$$L = r \times \frac{\delta}{\alpha} \times \frac{T}{\pi} \times e.$$

L étant le coefficient de self-induction.

Les bobines essayées contenant presque toutes un noyau de fer, on a, dans certains cas, mesuré le coefficient pour différentes intensités de courant.

Voici quelques-uns des résultats obtenus.

I. — *Electro-graduateur dit de 250 ohms du système anti-inducteur Van Rysselberghe.*

Ces électros sont formés d'un noyau en fer, de deux culasses ou joues en fer et enfin d'un manchon également en fer recouvrant la bobine, de sorte, qu'à l'état normal, le circuit magnétique est fermé.

Digitized by Google

On a mesuré le coefficient de self-induction des électro-graduateurs en rompant le circuit magnétique par enlèvement successif d'une des culasses, puis du manchon et enfin à circuit magnétique fermé.

a) On a enlevé une culasse et le manchon ; l'intensité du courant était de 0,0085 ampère approximativement.

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 29$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 51$	$L = 2{,}04$ henrys
» »	$r = 5$	$\alpha = 26$	$L = 2{,}00$ »
» »	$r = 2$	$\alpha = 10{,}5$	$L = 2{,}1$ »
» »	$r = 1$	$\alpha = 5{,}25$	$L = 1{,}99$ »

b) Le même électro-graduateur, le manchon remis en place, il manque donc une culasse. $i = 0.0085$ ampère.

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 52$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 51{,}75$	$L = 3{,}6$ henrys
» »	$r = 5$	$\alpha = 26{,}5$	$L = 3{,}52$ »
» »	$r = 2$	$\alpha = 10{,}5$	$L = 3{,}57$ »
» »	$r = 1$	$\alpha = 5{,}5$	$L = 3{,}4$ »

c) Le même électro-graduateur complet. $i = 0.0085$ amp.

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre.	Coefficient de self-induction
$\delta = 96$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 52$	$L = 6{,}63$ henrys
» »	$r = 5$	$\alpha = 26{,}75$	$L = 6{,}5$ »
» »	$r = 2$	$\alpha = 11$	$L = 6{,}3$ »

II. — *Electro-graduateur dit de 500 ohms.*

a) Sans manchon et avec une culasse enlevée. Intensité du courant. $i = 0{,}0085$ ampère (environ).

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 24$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 16$	$L = 5{,}38$ henrys
$\delta =$ »	$r = 5$	$\alpha = 8$	$L = 5{,}38$ »

Digitized by Google

b) Le même électro-graduateur, le manchon remis en place et une culasse enlevée. $i = 0{,}0085$ ampère.

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 39$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 17$	$L = 8{,}25$ henrys
» »	$r = 5$	$\alpha = 8$	$L = 8{,}70$ »
» »	$r = 2$	$\alpha = 3{,}25$	$L = 8{,}65$ »

c) Le même électro-graduateur complet. $i = 0.0085$ amp.

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 59$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 15$	$L = 14{,}1$ henrys
$\delta =$ »	$r = 5$	$\alpha = 75$	$L = 14{,}1$ »
$\delta =$ »	$r = 2$	$\alpha = 3$	$L = 14{,}1$ »

III. — *Le même électro-graduateur de 500 ohms. Intensité du courant. $i = 0.010$ ampères.*

a) Le manchon et une culasse enlevés.

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 27{,}5$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 17.5$	$L = 5{,}8$ henrys
$\delta = 27{,}5$	$r = 5$	$\alpha = 9$	$L = 5{,}48$ »

b) Le manchon remis en place, il manque une culasse. $i = 0{,}010$ ampères.

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 49$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 17{,}5$	$L = 10{,}5$ henrys
$\delta = 49$	$r = 5$	$\alpha = 9$	$L = 9{,}8$ »

c) Le même électro-graduateur complet. $i = 0.010$ amp.

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 65{,}5$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 16{,}5$	$L = 14{,}3$ henrys
$\delta = 65{,}5$	$r = 5$	$\alpha = 8{,}25$	$L = 14{,}3$ »

Digitized by Google

IV. — *Annonciateur d'abonné, le volet enlevé. Résistance mesurée = 94 ohms. — Intensité du courant 0,005 ampères environ.*

Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 9$	$r = 10$ O	$\alpha = 155$	$L = 0{,}21$ henry
» »	$r = 5$ »	$\alpha = 80$	$L = 0{,}202$ »
» »	$r = 4$ »	$\alpha = 65$	$L = 0{,}200$ »
» »	$r = 2$ »	$\alpha = 33$	$L = 0{,}197$ »
» »	$r = 1$ »	$\alpha = 16$	$L = 0{,}202$ »

V. — *Annonciateur de fin de communication. Résistance mesurée 619 ohms.*

Intensité du courant. — $i = 0{,}005$ ampère environ.

Décharge	Résistance additionnelle	Déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 6$	$r = 10$ O	$\alpha = 7$	$L = 3{,}1$ henrys
$\delta = 6$	$r = 5$	$\alpha = 4$	$L = 2{,}7$ »

VI. — *Bobine d'induction de microphone Dejongh.*

a) Circuit secondaire. Résistance 145,4 ohms. Intensité du courant $i = 0{,}005$ ampère environ.

Décharge	Résistance additionnelle	Déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 28{,}5$	$r = 9$ O	$\alpha = 73$	$L = 1{,}26$ henry
» »	$r = 5$	$\alpha = 41{,}5$	$L = 1{,}24$ »
» »	$r = 1$	$\alpha = 9$	$L = 1{,}18$ »

b) Circuit primaire. Résistance mesurée 0,110 ohm.

Décharge	Résistance additionnelle	Déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 1{,}5$	$r = 0{,}1$ O	$\alpha = 78$	$L = 0{,}0007$ henry
» »	$r = 0{,}24$	$\alpha = 191$	$L = 0{,}000677$ »

VII. — *Bobine d'induction de microphone Hunnings.*

a) Circuit secondaire. Résistance 239 ohms. Intensité du courant $i = 0{,}005$ ampère environ.

Digitized by Google

Décharge	Résistance additionnelle	Déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 5{,}75$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 34{,}5$	$L = 0{,}6$ **henry**
» »	$r = 5$	$\alpha = 17{,}5$	$L = 0{,}59$ »
» »	$r = 2$	$\alpha = 6{,}75$	$L = 0{,}61$ »
» »	$r = 1$	$\alpha = 3{,}5$	$L = 0{,}59$ »

b) Circuit primaire. Résistance 0,560 ohm.

Décharge	Résistance additionnelle	Déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 8$	$r = 0{,}1\ \Omega$	$\alpha = 65$	$L = 0{,}00442$ **henry**
» »	$r = 0{,}25$	$\alpha = 163$	$L = 0{,}00440$ »

VIII. — *Bobine d'induction de microphone Grünewald.*

a) Circuit secondaire. Résistance 250,6 ohms. Intensité du courant $i = 0{,}005$ ampère environ.

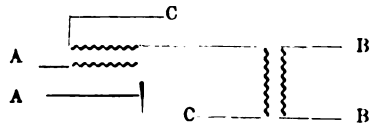
Décharge	Résistance additionnelle	Angle de déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 5$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 31$	$L = 0{,}58$ **henry**
» »	$r = 5$	$\alpha = 16$	$L = 0{,}562$ »
» »	$r = 2$	$\alpha = 6$	$L = 0{,}60$ »

b) Circuit primaire. Résistance 0,470 ohm.

Décharge	Résistance additionnelle	Déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 4$	$r = 0{,}24\ \Omega$	$\alpha = 156$	$L = 0{,}0022$ **henry**
» »	$r = 0{,}1$	$\alpha = 64$	$L = 0{,}00225$ »

IX. — *Translateur employé dans le système de télégraphie et de téléphonie simultanier Van Rysselberghe.*

Ci-dessous la disposition des circuits inducteurs et induits. Les 3 bobines sont à noyau de fer.



Bobine *A*. Résistance 276,7 ohms. Intensité du courant $i = 0{,}005$ ampère.

Digitized by Google

Décharge	Résistance additionnelle	Déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 7{,}5$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 25$	$L = 1{,}08$ henry
» »	$r = 5$	$\alpha = 13$	$L = 1{,}04$ »
» »	$r = 2$	$\alpha = 5$	$L = 1{,}08$ »
» »	$r = 1$	$\alpha = 2{,}5$	$L = 1{,}08$ »

Bobine *B*. Résistance 307,8 ohms.

Décharge	Résistance additionnelle	Déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 6$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 21{,}5$	$L = 1{,}02$ henry
» »	$r = 5$	$\alpha = 11$	$L = 0{,}985$ »
» »	$r = 2$	$\alpha = 4{,}5$	$L = 0{,}960$ »
» »	$r = 1$	$\alpha = 2{,}25$	$L = 0{,}960$ »

Bobine *C*. Résistance 163.6 ohms.

Décharge	Résistance additionnelle	Déviation après rupture d'équilibre	Coefficient de self-induction
$\delta = 25$	$r = 10\ \Omega$	$\alpha = 67$	$L = 1{,}342$ henry
»	$r = 5$	$\alpha = 34$	$L = 1{,}322$ »
» »	$r = 2$	$\alpha = 13{,}5$	$L = 1{,}335$ »
» »	$r = 1$	$\alpha = 6{,}5$	$L = 1{,}38$ »

M. De Bast, en terminant l'exposé de ce travail, fait remarquer qu'on possède peu de données sur la valeur des coefficients de self-induction des appareils téléphoniques et télégraphiques. La note de M. Roosen présente donc un intérêt documentaire pour beaucoup de nos camarades.

Il propose d'adresser les remercîments de l'assemblée à l'auteur *(Adopté)*.

M. **L'Hoest,** *secrétaire général.* — M. Dierman se proposait de communiquer à l'assemblée quelques notes d'un voyage en Angleterre, voyage qu'en partie nous avons fait ensemble. M. Dierman, comme vous l'avez appris, n'a pu se rendre à cette séance ; mais un résumé de sa communication du 8 octobre dernier a été complété par lui, de manière à comprendre une bonne part des faits dont il voulait vous entretenir.

Digitized by Google

Je propose en conséquence de publier cette note comme mémoire et non comme annexe au procès-verbal du 8 octobre dernier *(Adopté)*.

M. **L'Hoest,** donne ensuite quelques renseignements sur le « *Liverpool Overhead Railway* » qu'il a eu l'occasion de visiter.

L'assemblée exprime le désir de voir publier au bulletin une notice détaillée de cette importante exploitation.

Digitized by Google

MÉMOIRE

—

Note sur le calcul des lignes aériennes de tramways électriques.

La ligne aérienne d'un tramway électrique constitue un des éléments principaux de l'ensemble de l'installation. Son étude présente certains points intéressants que nous avons été amenés à approfondir ; nous exposons ci-après le résultat de notre travail en excluant les détails décrits par Crosby et Reckenzaun dans leurs ouvrages spéciaux sur la matière.

Considérations préliminaires.

L'étude de l'organisation de l'exploitation doit précéder celle de la ligne aérienne ; nous l'examinerons donc tout d'abord ; on conçoit, en effet, que la distribution de l'énergie électrique doit être établie directement en fonction de celle-ci, tant au point de vue du *nombre des voitures en service*, qu'à celui de leur *capacité*, de leur *vitesse*, des *rampes* à gravir.

Les premiers éléments d'étude à recueillir sont donc : un *tracé* et un *profil en long* de la ligne à desservir ; nous admettrons que ces éléments sont établis par l'existence de la ligne à armer, et que l'on connait le trafic normal et le trafic maximum probable.

Capacité des voitures. Quoique l'établissement de la capacité la plus avantageuse des voitures ne soit pas directement du ressort de l'ingénieur électricien, il doit cependant se préoccuper de la transformation que l'introduction d'un nouveau système de traction va apporter dans l'intensité et la nature du trafic.

Digitized by Google

Très souvent, les anciennes lignes à chevaux lesquelles sont les premières à adapter la traction électrique pour une raison d'économie ou de développement, sont armées de voitures de dimensions restreintes, dont la contenance descend jusqu'à 12 places assises et 12 places debout pour les voitures fermées et 26 places pour les voitures ouvertes. Ces voitures ont un écartement d'essieux de $1^{m}50$; leur longueur totale est de $5^{m}25$. La traction se fait à l'aide d'un cheval. Les grandes lignes sont munies de voitures à 36 places remorquées par deux chevaux.

Lorsque l'on fait usage de ces types de voitures, sauf sur les très petites lignes, la fréquence des départs est de 3 à 8 minutes. La double voie est indispensable lorsque la fréquence dépasse 10 départs à l'heure.

Enfin, sur les grandes lignes, lorsque la fréquence est inférieure de 8 à 10 minutes, on emploie des voitures de 40 à 60 places, le plus souvent avec impériale, remorquées par deux ou trois chevaux de front.

Lorsqu'il faut remonter des rampes de 30 à 40 millimètres, il est indispensable de faire usage de chevaux de renfort et la vitesse devient très faible.

Sur les lignes à faibles rampes, la traction chevaline à un cheval sur simple voie ne permet guère de dépasser la vitesse commerciale de 8 kilom. à l'heure, en service constant. Sur les lignes à double voie, la traction à un cheval permet d'atteindre 8,5 kilom. à l'heure et, avec deux ou trois chevaux, lorsque la voie n'est pas trop encombrée, 9 à 10 kilomètres à l'heure ; ce sont là des vitesses moyennes, arrêts compris. La vitesse maximum à un instant donné ne dépasse pas 12 ou 13 kilomètres à l'heure, sauf à la descente des pentes.

Les voitures de 26 places pèsent 1300 à 1500 k^{os} ; celles de 36 places 1800 à 2000 k^{os}, celles à impériale de 40 à 60 places 3100 à 4000 k^{os}.

Digitized by Google

Lors de la transformation de l'exploitation chevaline en traction électrique, il faut envisager non seulement la capacité des anciennes voitures, mais aussi l'accroissement régulier de trafic auquel elles ont satisfait et l'accroissement éventuel auquel le nouveau service devra faire face.

S'il s'agit d'une ligne dont le trafic voyageur est limité fréquemment par l'exiguité des véhicules, il est rationnel d'adopter pour les voitures électriques une capacité aussi grande que le permettent le train de roulement à deux essieux et l'empattement que les courbes prescrivent de donner à celui-ci. La construction des voitures électriques à deux essieux comporte d'ailleurs, lorsque l'on ne sort pas de certaines dimensions, un certain nombre d'éléments constants qui en constituent la partie pondéreuse ; la capacité de la voiture à deux essieux qui réalise le minimum de poids mort par place offerte, est celle qui correspond à une voiture de 16 pieds anglais de longueur de caisse, soit 4^m88, et à des plate-formes de 1^m20 chacune ; cette voiture pèse 5 tonnes, munie de deux moteurs de 15 HP, et contient 36 voyageurs ; le poids mort par voyageur est donc

$$\frac{5000}{36} = 139 \text{ kilogr.}$$

Le poids mort d'une voiture de 26 places munie de deux moteurs de 10 chevaux serait de 4225 k°, soit par voyageur : $\frac{4225}{26} = 163$ kilogr.

Ce sont là les poids morts par place offerte ; il est évident que les places occupées en moyenne sont plus faibles ; on n'observe en général pas de réduction notable du coefficient d'occupation moyenne lorsque l'on transforme la traction chevaline d'un réseau en traction électrique en agrandissant la capacité des voitures, parceque les jours de foule,

Digitized by Google

l'excès de capacité est toujours utilisé. Si l'on admet un coefficient de 0,25, les poids morts deviennent

voiture à 36 places	556 k°
— à 26 —	652 k°

soit une augmentation de 196 % pour la voiture de 26 places.

Il faut cependant se garder d'aller trop loin dans le choix d'une grande capacité, et se rapporter au nombre moyen de voyageurs kilomètres avant de recourir à la longue voiture à deux boggies de plus de 36 places. Il est probable que les trains articulés à deux essieux, genre De Rechter, seront applicables aux voitures de 36 à 40 places qui, avec l'écartement habituel de 1m80 entre essieux, donnent lieu à un balancement très accentué qui entraîne souvent le déraillement de la voiture remorquée lorsque la voie est mauvaise.

La voiture à deux boggies est plus coûteuse par place offerte que la voiture à deux essieux, mais son emploi permet d'effectuer une économie de personnel, une même équipe étant affectée à une capacité de transport plus grande ; le poids par place offerte est aussi plus élevé. Après avoir été très en faveur aux Etats-Unis, les très grandes voitures n'ont plus été employées que dans le cas d'un trafic intense régulier, dans les grandes villes où le personnel est coûteux. Le public préfère les grandes voitures à boggies qui sont plus confortables et d'un roulement plus doux, étant dépourvues du mouvement de galop caractéristique des voitures électriques à deux essieux rapprochés.

Dans la grande généralité des cas, il semble que les voitures à deux essieux répondent aux besoins d'un service intense et l'emploi de voitures remorquées, les jours de foule, permet de doubler la capacité de chaque départ,

Digitized by Google

en réalisant ainsi un service élastique beaucoup plus économique qu'on ne pourrait le faire avec de grandes voitures à boggies. En effet, les jours ordinaires, les voitures à boggies offrant un nombre de places disproportionné avec le trafic, l'intérêt de l'exploitant lui commanderait de diminuer le nombre de voitures en circulation et par suite la fréquence des départs : or, c'est précisément la grande fréquence des départs qui joue le rôle le plus important dans les recettes, de sorte que le résultat de l'emploi de grandes voitures à boggies peut devenir désastreux.

Crosby démontre dans son ouvrage «Electric Railways» que chaque arrêt et démarrage coûte deux fois plus cher pour une voiture à boggies que pour une voiture à deux essieux.

On invoque en faveur des voitures de tramways à boggies leur facile inscription en courbe, et partant l'économie de courant qu'elles réalisent. Voici, à cet égard, les résultats comparatifs de mesures effectuées par M. Dickinson sur les lignes de Walsall-Darlaston près Birmingham, dans le South Staffordshire.

Tramways du South Staffordshire. —

Ligne de Mellist Road à Darlaston :

Voiture 109 à boggies ; contenance : 50 places, vitesse moyenne 7,3 milles ; travail moyen 13 HP ;

Voiture 51 à deux essieux ; deux moteurs : 40 places, vitesse moyenne 7,25 milles ; travail moyen 10 HP.

Ligne de Bloxwich à Wednesburg. —

Voiture 109, vitesse moyenne 7,6 milles ; travail moyen 13,5 HP ;

Voiture 51, vitesse moyenne 7,13 milles ; travail moyen 11,6 HP.

Digitized by Google

Ces résultats ont été obtenus à l'aide de mesures soignées relevées d'après les diagrammes ci-dessous, sur des profils accidentés. (Fig. 1 et 2).

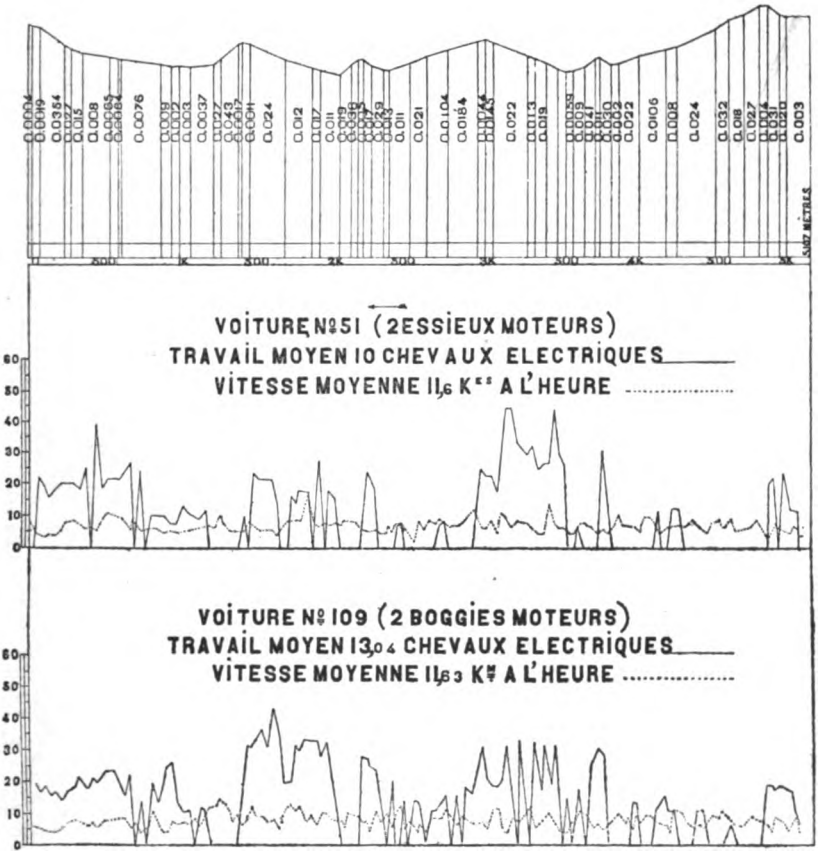

VOITURE Nº 51 (2 ESSIEUX MOTEURS)
TRAVAIL MOYEN 10 CHEVAUX ELECTRIQUES
VITESSE MOYENNE 11,6 Kms A L'HEURE
VOITURE Nº 109 (2 BOGGIES MOTEURS)
TRAVAIL MOYEN 13,04 CHEVAUX ELECTRIQUES
VITESSE MOYENNE 11,63 Kms A L'HEURE

Fig. 1.

Sur la même ligne on en conclut que le travail par place offerte est à vitesse égale

voiture à deux boggies 0,26 à 0,27 HP par place
» » essieux 0,25 à 0,29 HP »

Digitized by Google

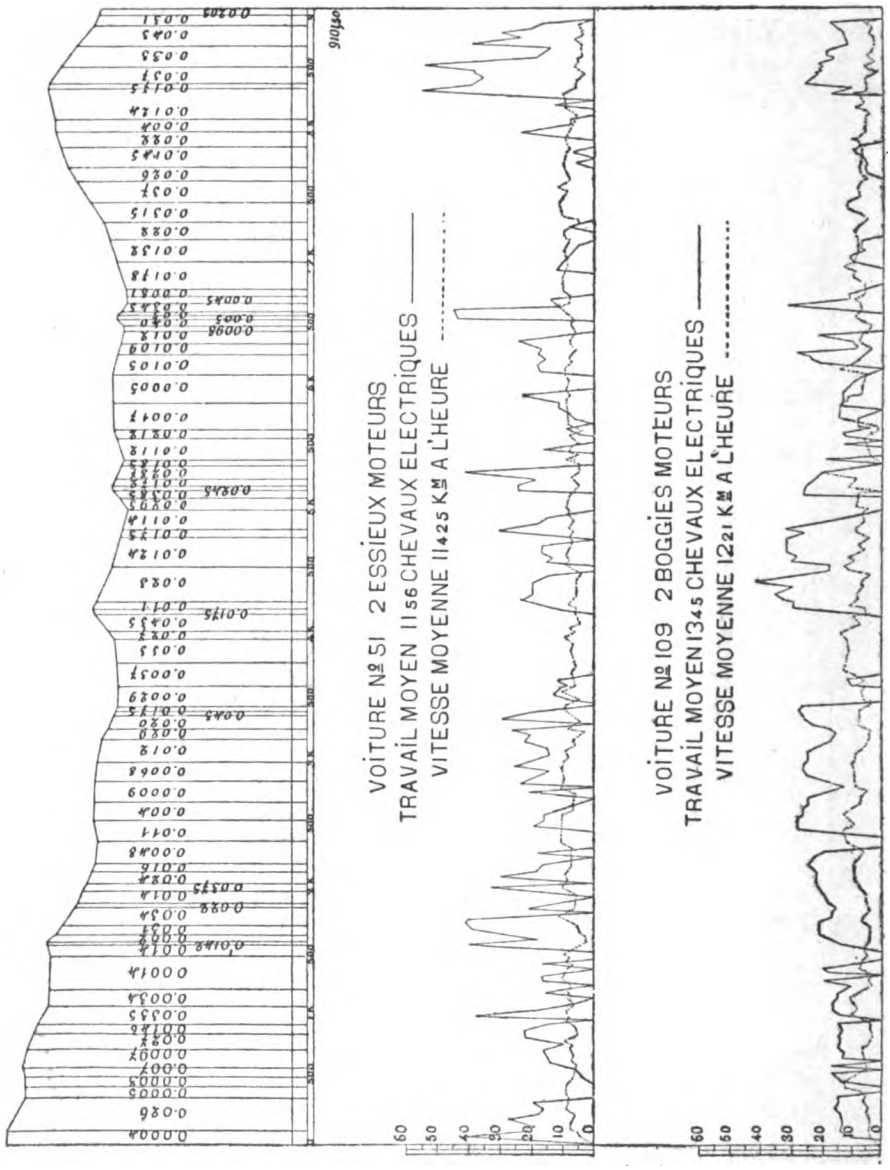

VOITURE Nº 51 2 ESSIEUX MOTEURS
TRAVAIL MOYEN 1156 CHEVAUX ELECTRIQUES
VITESSE MOYENNE 1425 KM A L'HEURE
VOITURE Nº 109 2 BOGGIES MOTEURS
TRAVAIL MOYEN 1345 CHEVAUX ELECTRIQUES
VITESSE MOYENNE 1221 KM A L'HEURE

Fig. 2.

Digitized by Google

Calcul des lignes aeriennes.

Un réseau de tramways plus ou moins compliqué peut toujours être ramené à un certain nombre de trajets ou parcours simples, indépendants les uns des autres.

Considérons une ligne ainsi déterminée.

La ligne aérienne devant fournir l'énergie électrique aux voitures, et leur consommation d'énergie étant directement dépendante du profil de la ligne, on commence par dresser ce profil.

La distribution de l'énergie dépend de la position en plan des voitures et de l'usine centrale ; on dresse donc aussi un plan de la ligne.

Pour dresser le plan et passer au calcul des travaux, deux éléments doivent encore intervenir: la vitesse et la fréquence du service. Ce sont en effet ces éléments qui déterminent la position des voitures et par suite celle des croisements.

Nous allons examiner séparément ces questions.

A) *Croisements et évitements.*

On impose : la plus grande vitesse moyenne et la fréquence

Si L est la longueur totale de la ligne, v la vitesse moyenne du cahier des charges,

t la fréquence du service,

l_v la distance entre deux voitures qui se suivent,

l_c la distance entre deux croisements,

n le nombre de voitures en marche (il peut y avoir en plus une voiture en repos à chaque terminus),

$n - 1$ le nombre des croisements ;

on a :

$$l_c = \frac{1}{2} v \frac{t}{60}$$

$$\text{et } l_v = v \frac{t}{60}$$

Digitized by Google

et comme le nombre des voitures doit être supérieur au quotient de la distance aller et retour par la distance qui les sépare :

$$n > \frac{60\,L}{\frac{1}{2}\,v\,t}$$

Cette inégalité peut être transformée en égalité en faisant varier v dans les limites permises par les règlements, ce qui donnera de nouvelles valeurs à l_o et l_v.

Si l'on impose un temps d'arrêt t_a à chaque terminus et à chaque voiture, pour les manœuvres de service ; si a représente la distance du dernier croisement au terminus et v_m la nouvelle vitesse correspondante,

$$L = 2\,a + (n-2)\,l_o \text{ d'où } a = \frac{L - (n-2)\,l_o}{2}$$

$$t_a = \frac{60\,(2\,l_o - 2\,a)}{v_m}$$

d'où

$$v_m = \frac{60\,(l_v - 2\,a)}{t_a}$$

remplaçant l_v et a par leur valeur :

$$l_v = v_m\,\frac{t}{60}$$

$$a = \frac{L - (n-2)\,\frac{v_m\,t}{2 \times 60}}{2}$$

il vient :

$$t_a\,v_m = 60\left(\frac{v_m\,t}{60} - L + (n-2)\,\frac{v_m\,t}{2 \times 60}\right)$$

$$t_a\,v_m = v_m\,t - 60\,L + \frac{1}{2}(n-2)\,v_m\,t$$

$$60\,L = v_m\,t + \frac{1}{2}(n-2)\,v_m\,t - t_a\,v_m$$

Digitized by Google

$$= v_m \left[t + \frac{1}{2}(n-2)\, t - t_a \right]$$

et finalement :

$$v_m = \frac{60\ L}{\left[t\left(1 + \frac{1}{2}(n-2)\right) - t_a \right]} = \frac{60\ L}{t\left[1 + \frac{1}{2}(n-2)\right] - t_a}$$

Si l'on pose L = 12.370 kilomètres
t = 3.5 minutes
v = inférieure à 14 kilomètres à l'heure,
il vient :

$$n > \frac{742}{24.5} < 4$$

n = 32 voitures

Si t_a = 2 minute,

$$v_m = \frac{742}{(3.5 \times 16) - 2} = 13.8 \text{ km. à l'heure},$$

d'où on conclut les valeurs définitives de l_o , l_v , a.

Remarquons en passant que si la ligne comportait des sections où la vitesse de 14 km. serait trop grande, on traiterait chacune des sections intermédiaires de même en faisant t_a = zéro.

On a ainsi la vitesse moyenne devant servir à la détermination du travail de traction.

B) *Vitesse maximum.*

Toutefois les moteurs doivent être établis pour une vitesse maximum supérieure à la vitesse moyenne, dans une proportion qu'il est aisé de déterminer, quand on connait le temps et le parcours à affecter aux démarrages, aux peinages et aux arrêts. Soient :

N le nombre d'arrêts par kilomètre parcouru,
N v_m le nombre d'arrêts par heure,
t_r le temps du ralentissement précédant l'arrêt,
t_d le temps du démarrage suivant l'arrêt,

Digitized by Google

t_a le temps d'arrêt,
d_r le chemin parcouru pendant le ralentissement,
d_d le chemin parcouru pendant le démarrage,
N v_m t_a le temps d'arrêt par heure,
les temps exprimés en minutes ;
les distances en kilomètres.

Le temps de marche à pleine vitesse, par heure, sera

$$60 - N\, v_m\, (t_r + t_d + t_a)\ ; \qquad (1)$$

Le chemin à parcourir en pleine vitesse dans ce temps, sera

$$v_m - N\, v_m\, (d_r + d_a)\ ; \qquad (2)$$

c'est-à-dire que la vitesse maximum correspondant au parcours (2) à effectuer dans le temps (1) devient

$$V\ max. = \frac{v_m - N\,(d_r + d_d)\,v_m}{60 - N\,V_m(t_r\, t_d\, t_a)}$$

Si l'on pose

$t_r = 5''$ $\qquad$ $d_r = 10^m$
$t_d = 10''$ $\qquad$ $d_d = 30^m$
$t_a = 15''$ $\qquad$ $v_m = 13.8$
$N = 4$

il vient V max. = 19,8 km. à l'heure.

C'est pour cette valeur maximum de V que les moteurs électriques devront exercer la puissance motrice maximum sous l'effort maximum.

Il nous reste donc à déterminer les efforts de traction.

c) *Travail de traction.*

On admet généralement que le coefficient de traction sur un tramway est de 15 kilogrammes par tonne. Ce chiffre qui descend à 12 kilogrammes sur une voie bien posée, s'élève parfois jusqu'à 18 et 20 kilogrammes sur de mauvaises voies. Il est à remarquer que la qualité des voies est excessivement variable. D'un autre côté, des voies convenant parfaitement à la traction chevaline, ne conviennent plus à la traction électrique à cause de l'augmentation de la charge par essieu. Toutes les voies qui ne sont pas posées sur traverses ou sur cloches assises sur

Digitized by Google

béton sont détruites par les voitures électriques automotrices après une campagne d'hiver, à moins qu'il s'agisse d'un rail ayant un fort module de flexion et une assiette convenable.

Dans la rédaction d'un projet, il convient donc de prévoir une voie convenablement établie, ou la réfection d'une voie insuffisante, afin de ne pas devoir exagérer les coefficients de traction et adopter un équipement trop puissant et partant trop onéreux.

Toutes les voies pour traction chevaline, sur billes ou traverses métalliques doivent être grevées d'une réfection de 8000 à 10000 francs par kilomètre pour devenir propres à la traction électrique, par voitures automotrices pesant 3 $^1/_2$ à 4 tonnes par essieu. Dans ces conditions et pour une voie propre, on peut admettre un coefficient de roulement de 12 kilogrammes par tonne.

Le mauvais nettoyage de la voie, particulièrement s'il s'agit d'une voie à ornière, peut doubler ce coefficient, mais il faut admettre que cette situation est momentanée et partielle, et que l'ensemble du matériel est suffisamment robuste pour maintenir le service; pour les lignes hors ville, sur routes, le rail à ornière n'est plus nécessaire et doit être remplacé par le rail vignole qui permet de descendre l'effort de traction à 8 kilogrammes par tonne. Les circonstances qui accroissent momentanément l'effort de traction ne portant que sur une partie du matériel roulant, le matériel fixe ne doit pas présenter le grand excès de puissance qu'on rencontre dans l'agencement mécanique des voitures électriques, dont les moteurs sont toujours trop forts pour le travail moyen qu'ils sont appelés à développer.

Le coefficient de traction par tonne étant établi pour chaque type de voie, on passe à l'établissement du travail de traction.

La voiture automotrice a un poids différent selon qu'un ou deux essieux sont munis de moteurs. Son poids en charge est d'environ 7 tonnes y compris un moteur de 20

Digitized by Google

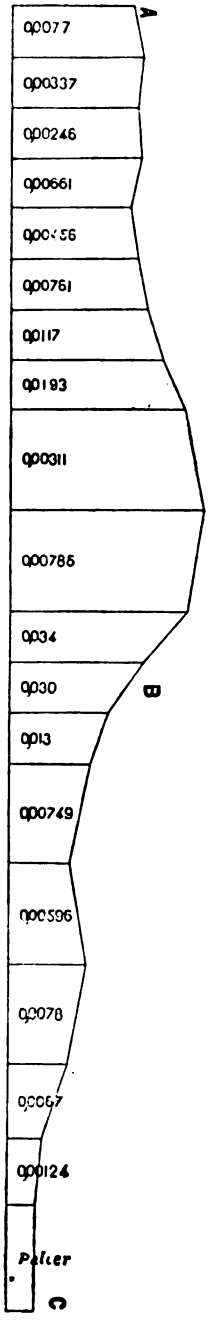


Fig. 3.

chevaux, et $7\frac{3}{4}$ y compris deux moteurs de 15 chevaux. La pratique a indiqué que le moteur unique ne convenait que lorsque les rampes ne dépassaient pas 4 c^m^ par mètre sur une bonne voie, à moins que ce moteur soit accouplé aux deux essieux par l'une des disposition de Rae, Sperry, chaîne de transmission ou bielle (Eickmeyer).

Donnons-nous un profil de ligne tel que celui de la fig. 3.

Cette ligne a 12,37 km. de long et doit être desservie à la vitesse moyenne de 13 km, 8 à l'heure sans que la vitesse dépasse 20 km. à l'heure; il y aura en règle générale des arrêts tous les 250 mètres (4 par kilomètre); les voitures se suivront toutes les 3,5 minutes. Ces conditions correspondent à celles de la page 203.

Le nombre de voitures *en marche*, déduit des formules de la page 203, est 32 ; le service de l'exploitation indiquera combien il faut faire stationner de voitures au terminus.

Nous avons supposé une ligne à courbes bien tracées, n'exigeant pas de ralentissement spécial; il serait aisé d'en tenir compte, mais comme la vitesse de 20 km admise est un peu supérieure à la vitesse maximum nécessaire, on peut considérer que la vitesse moyenne ne sera pas affectée par ces ralentissements peu importants.

Etudions la marche d'une de ces 32 voitures. Pour cela, suivons le profil dans les deux sens. Dans la fig. 4, on voit la moitié du profil prise de A en B et de B en A ; sur la fig. 5, on trouve la portion BC et CB constituant l'autre moitié.

Digitized by Google

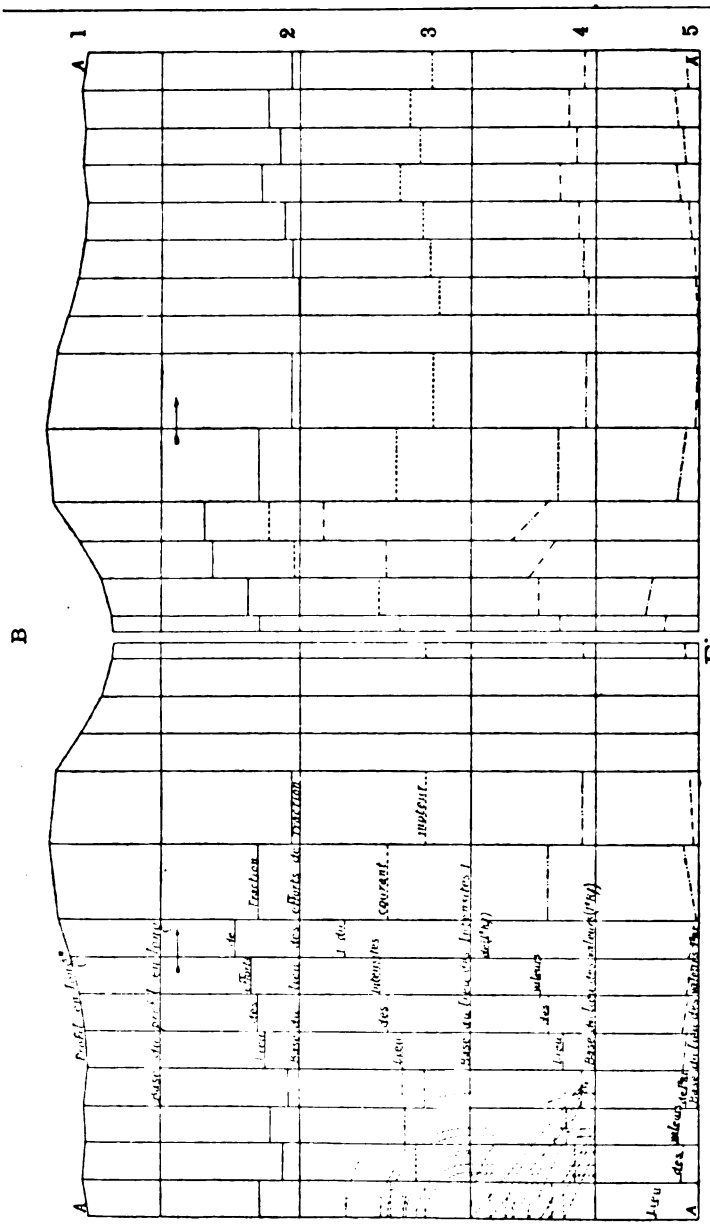


Fig. 4.

Digitized by Google

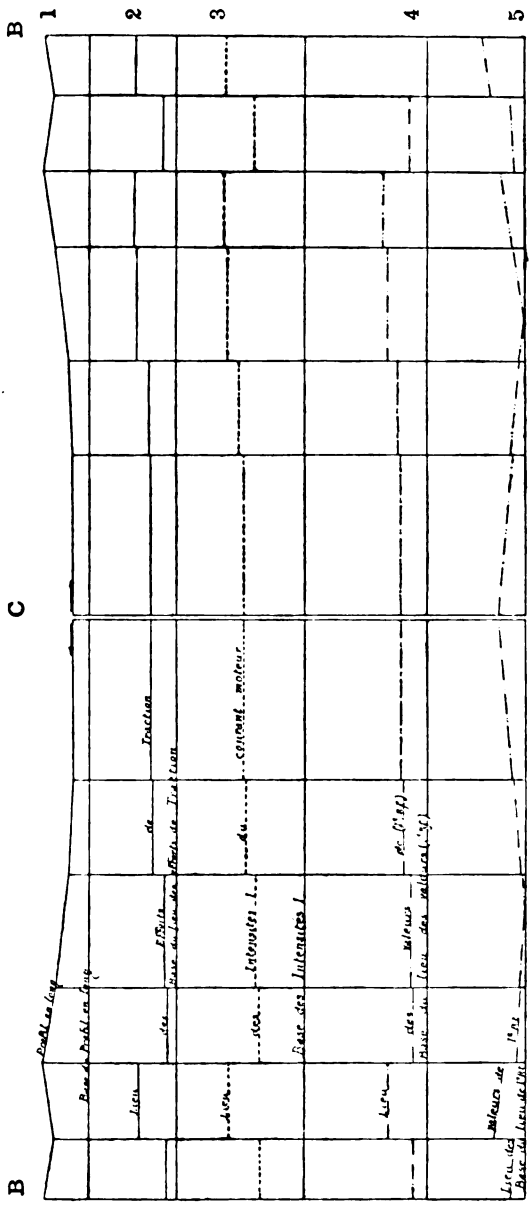


Fig. 5.

Digitized by Google

Connaissant le coefficient de traction, les pentes et rampes, nous pouvons tracer en 2, un diagramme des efforts de traction correspondant à ce profil. Lorsque ces efforts passent en-dessous de zéro nous n'indiquons pas leur valeur, le moteur ne travaillant pas à ce moment et la voiture marchant à freins fermés sans dépense de travail électrique.

Nous avons ainsi, aller et retour, le diagramme des efforts de traction. Une simple transformation d'échelles donne les travaux en kilogrammètres à la vitesse moyenne, ou bien encore, en chevaux.

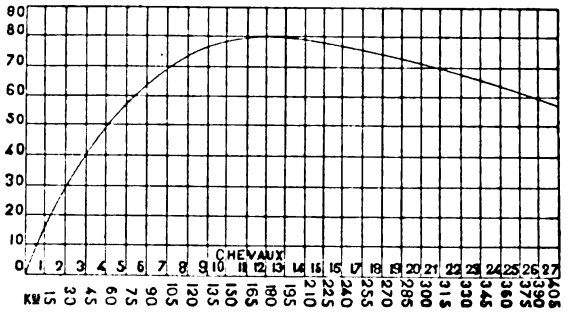


Fig. 6.

Nous possédons le diagramme du rendement du système électro-moteur de la voiture, fig. 6. Il nous est donc facile de passer à un diagramme des intensités de courant en 3 des fig. 4 et 5. Un changement d'échelle nous permet de déduire de la surface du lieu des intensités, le travail électrique nécessaire à un voyage complet, aller et retour. Ce travail est de 13150 watts-heure pour 24,74 kilomètres mais il ne comprend point les démarrages. Calculons la valeur de ceux-ci : le travail de démarrage est la quantité de mouvement qu'il faut fournir à une voiture de 7 tonnes pour acquérir la vitesse de 5^m50 par seconde en 12 secondes.

Digitized by Google

La formule

$$w = \frac{P}{g} V^2$$

donne, en comptant sur un rendement de 50 % au moteur, au moment du démarrage, 50 watts-heure par démarrage. (1) Le nombre de démarrages par voyage aller-retour étant de $24{,}64 \times 4 = 98{,}56$, et chacun étant de 50 watts-heure, le travail des démarrages sera $98{,}56 \times 50 = 4928$ watts-heure. Le travail total de la traction et des démarrages sera donc $13150 + 4928 = 18078$ watts-heure. On peut supposer, sans grande erreur, que ce travail est uniformément réparti sur toute la surface du diagramme. Une simple proportion $\frac{18078}{13150}$ corrige les échelles dans le sens voulu.

Ces tracés graphiques vont nous donner un moyen d'évaluer, pour les conducteurs, la perte due au mouvement de la voiture, laquelle est fonction de la résistance de la ligne et de l'intensité du courant. Ces pertes de charge sont de la forme I^2R. Elles ne peuvent donc être établies sur les bases des valeurs moyennes de I ; elles pourraient l'être d'après la $\sqrt[2]{\text{moyenne de } (I)^2}$.

Traçons le lieu de I^2 d'après celui de I. Nous l'obtenons par le tracé d'un diagramme polaire de la même manière que les épures des moments fléchissants dans les épures de stabilité des ponts métalliques. Ce lieu nous montre que les I^2 prennent des valeurs considérables vers les

(1) Dans un travail paru au Bulletin en 1892, n° 4-6, page 134, j'ai donné comme résultant de mesures effectuées en Amérique, le chiffre de 62,5 watts-heure. Ce chiffre correspondait à un rendement de $\frac{24{,}6}{62{,}5} = 39{,}5$ % pendant le démarrage du moteur. On voit combien le démarrage des moteurs doit encore être amélioré pour diminuer la perte considérable qui en résulte. Le démarrage sur deux moteurs atténue déjà les pertes dans une proportion notable par suite de leur couplage en tension.

Digitized by Google

parties accidentées du profil. Donnons-nous, pour établir notre raisonnement, un projet de système-conducteur, soit le suivant :

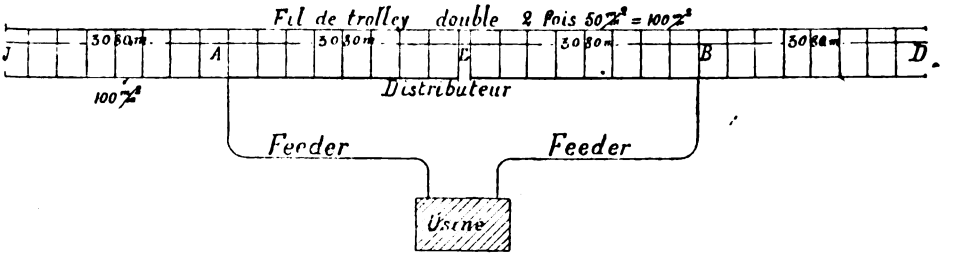


Fig. 7.

Le fil de trolley a 50 $^{m}/_{m^2}$ de section par fil ; étant double, la section de la ligne est 100 $^{m}/_{m^2}$. La section de la ligne et du distributeur doivent représenter ensemble une valeur convenable pour limiter la perte ; on simplifie la recherche de cette valeur en prenant d'abord des conducteurs de sections empiriques dont on vérifie ensuite la perte de charge. Lorsque le distributeur ne joue pas en même temps le rôle de feeder, on peut admettre que, pour autant que sa longueur ne dépasse pas 3 kilomètres, la section totale, trolley et distributeur, est de 8 $^{m}/_{m^2}$ par voiture et par kilomètre sur des lignes de niveau ; les parties en rampe doivent être renforcées en fonction de l'augmentation des pertes de charge ; la section minimum est 50 $^{m}/_{m^2}$.

Dans le cas qui nous occupe, il y a 3 kilomètres à faibles rampes depuis chaque centre d'alimentation jusqu'au terminus, avec 8 voitures, soit $8 \times 3 \times 8 = 192$ $^{m}/_{m^2}$, adoptons 200 $^{m}/_{m^2}$.

Pour établir le renforcement des distributeurs dans la partie à rampes A B, planimètrons le diagramme des I^2 dans la partie du lieu qui s'y rapporte, et comparons cette surface avec celle qui se rapporte aux parties de niveau ; nous trouvons respectivement

Digitized by Google

147,9 c^{m2} et 212,1 c^{m2}.

Pour la première surface des I^2, la section de cuivre est 200 $^m/_{m^2}$; pour la seconde, elle sera $200 \times \frac{212,1}{147,9} = 290\ ^m/_{m^2}$, en forçant, 300 $^m/_{m^2}$ dont les fils de trolley représente 100 $^m/_{m^2}$.

Le distributeur se composera donc d'un câble central de 200 $^m/_{m^2}$ entre les centres de distribution α, β ; et de deux bouts de 100 $^m/_{m^2}$ à partir de chacun des centres.

Les pertes de charge dans le distributeur sont fonction non seulement de I^2, mais aussi de R qui varie avec la position de la voiture. R passe par un maximum aux extrémités J, D et au point milieu E, où le distributeur est supposé coupé pour simplifier les calculs ; R passe par zéro au droit de chaque centre de distribution.

Pour une même valeur de I^2, les équations des courbes de I^2R sont des droites qui, si on veut les tracer, en cinq planches, partent de l'horizontale comme point commun et ont une inclinaison proportionnelle à I^2. Les portions de ces droites comprises entre les ordonnées correspondantes du lieu des I^2, constituent le lieu des I^2R. Si on admet que la base du lieu représente des temps au lieu de longueurs, ce qui est toujours possible en admettant, sans grosse erreur, que la vitesse moyenne soit uniforme, la surface du lieu des I^2R donnera $\sum_{T_1}^{T_2} I^2R dT$ qui est précisément la perte que nous cherchons à établir.

La question des échelles variables pour chaque section, seule est un peu délicate pour ce dernier lieu. Voici l'élaboration de toutes les échelles.

Lieu 2. — 1 c^m d'ordonnée = 50 k^o
1 c^m d'abscisse = 160 ^{m} ∴ 1 $c^{m\,-2}$ = 8000 kgm.

Lieu 3. — 1 c^m d'ordonnée = 3,33 ampères sans démarrage, d'après une conclusion des échelles suivantes et le raisonnement de la page 203, on a aussi

1 c^m d'ordonnée = 4.62 ampères avec les démarrages.

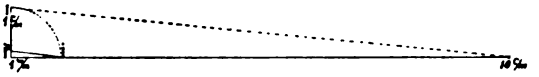
Digitized by Google

1 c^m d'abscisse = 160 ^{m} ou $\frac{160 \times 60}{13,2}$ = $0^{heure}0121$

∴ 1 c^{m-2} = 20.16 watts-heure sans les démarrages.

D'après le raisonnement de la page 203, = 27,9 watts-heure avec les démarrages.

Lieu 4. — La distance polaire étant de 10 centimètres, 1 centimètre d'ordonnée représentait 4,62 ampères qui, élevés au carré, et devenant 21,4 ampères carrés ne sont plus représentés que par 1 $^m/_m$; donc 1 c^m d'ordonnée dans ce lieu, représente 21,4 × 10 = 214 ampères carrés, avec les démarrages. (Fig. 8).



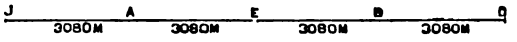


Fig. 8 et 9.

Lieu 5. — On peut diviser les distributeurs et la ligne en sections supposées isolées et ayant chacune 3080 mètres de longueur. (Fig. 9).

A) Pour les parties ou la section est de $200^m/_m^{-2}$

$$S = 200^m/_m^{-2}, \quad L = 3080^m$$

$$R = 1,7 \times 308000 \times {}^1/_2 \times 10^{-6} = 0,2625 \text{ O.}$$

1 centimètre d'abscisse représente 400 mètres ou $0^{heure}121$; 1 centimètre d'ordonnée représente 214 ampères carrés × 0,2625 ohms ; donc, 1 c^m carré représente, (démarrages compris)

$$0,2625 \times 0,0121 \times 214 = 0,68 \text{ watts-heure.}$$

B) Pour les parties ou la section est de $300^m/_m^{-2}$, un raisonnement semblable donne

$$R = 1,7 \times 308000 \times {}^1/_3 \times 10^{-6} = 0,175 \text{ O.}$$

$$1 \ c^{m-2} = 0,175 \times 0,0121 \times 214 = 0,453 \text{ watts-heure.}$$

Digitized by Google

Nous pouvons maintenant déterminer les travaux des pertes de charge pour la partie du circuit étudiée jusqu'à présent.

Fil Trolley et Distributeur.

A) 1 c^{m2} = 0.68 W. H.

Le planimètre donne

$$S = 21 + 16{,}8 + 17{,}2 + 18{,}5 = 73{,}5\ c^{m2}$$

$$\times\ 0{,}68 = 50\ W\ H$$

B) 1 c^{m2} = 0,452 W H

Le planimètre donne

$$S = 5{,}8 + 72{,}7 + 16{,}3 + 20{,}5 = 115\ c^{m2}$$

$$\times\ 0{,}453 = 52\ W\ H$$

$$102\ W\ H$$

Cette perte correspond au voyage aller-retour d'une voiture dont la consommation de courant est de 18250 watts-heure ; c'est donc une perte de 0,56 %. Il est évident que la ligne pouvant être divisée en 4 sections, et chacune de celles-ci pouvant être parcourue séparément par une voiture, la perte de 0,56 % restera la même lorsque quatre voitures seront en circulation ; mais pour 32 voitures elle sera $\frac{32}{4} = 8$ fois plus forte ; elle sera $0{,}56 \times 8 = 4.48\ \%$ le rendement sera $\frac{100}{104{,}48} = 95{,}7\ \%$ —

Des distributeurs et des fils de trolley nous pouvons passer au circuit de retour. Etant donné sa grande longueur il paraît indispensable de prévoir des feeders souterrains, dont le but sera également d'éviter de trop grandes dérivations par le sol, dues à des différences de potentiel trop considérables entre les extrémités de la ligne.

Le circuit de retour se compose de 12 k 320 de double voie en rails de 10^m ; soit 1232 longueurs et 1231 joints.

Les rails pèsent 30 k° par mètre de rail, donc 120 k° par mètre de double voie ; leur section globale est donc

$$\frac{120000}{7.8 \times 100} = 154\ c^{m2}$$

Digitized by Google

Si nous supposons la voie alimentée par sections, comme la ligne aérienne. (Fig. 10).

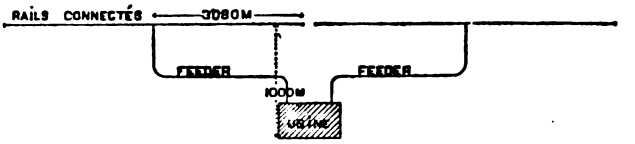


Fig. 10

chaque section comprend 308 sections et 307 joints ; chaque joint se compose de 4 fois 2 barres de cuivre de $50^{m}/_{m^2}$ et $50^{m}/_{m}$ de long rivées aux rails. Leur longueur accumulée est donc $307 \times 0.5 = 153,5$ mètres pour $400\ ^{m}/_{m^2}$.

La résistance des 3080 mètres de voie est donc

$$\text{rail} \quad R_r = \frac{10 \times 308000 \times 10^6}{154} = 0,0195$$

$$\text{joints} \quad R_o = \frac{1,7 \times 153,5 \times 10^6}{4} = 0,0006$$

$$0,0201$$

Les diagrammes $\Sigma I^2 R\, dt$ restent les mêmes comme allures, mais leurs échelles deviennent

$$1\ c^{m2} = 214 \times 0,02 \times 0,0121 = 0,052 ;$$

la surface d'un voyage aller-retour est $188,8\ c^{m2}$ donc

$$0,052 \times 188,8 = 9,78 \text{ watts-heure.}$$

représentent la perte dans la rail lorsque la voiture dépense 18250 watts-heure ; la proportion est 0 0536 %. De même que pour les distributeurs et fils de trolley la valeur relative à cete perte est proportionnelle au nombre de voitures divisé par le nombre de sections, soit $\frac{32}{4} = 8$; cette perte devient dans ce cas

$$8 \times 0,0535 = 0,4280\ \%$$

$0,43\ \%$ en forçant

Digitized by Google

La perte dans les distributeurs et fils de trolley est	4,48 %
Celle dans les rails	0,43
Total. . . .	4,91

Or le rendement de canalisation imposé est 85 % ; donc la fraction de l'énergie qui est dépensée dans la ligne et le retour, évaluée par rapport à celle qui est fournie aux véhicules, est 17,8 % ; la fraction à perdre dans les feeders s'élève à 17,8 — 4,91 = 12,89 %. Cette perte équivaut à une chute de potentiel de 500 × 12,89 = 64,5 alors que la perte de 17,8 % équivaut à 89 watts.

Nous admettrons que les feeders de retour et ceux de la ligne aérienne suivent le même chemin et que leur longueur simple à chacun soit 3080 + 1000 = 4000 mètres.

Déterminons la valeur de $\sqrt[2]{\text{moyenne } (I)^2}$ pour chacun des feeders. Le planimétrage des diagrammes de I^2 (4° des fig. 4, 5) donne des ordonnées moyennes de 28,1 et 18,6 millimètres à raison de 214 ampères carrés par centimètre ; les valeurs des moyennes de I pour chacun sont donc

603 et 400 ampères carrés

auxquelles correspondent

$$24{,}6 \text{ et } 20 \sqrt[2]{\text{moyenne } (I^2)}$$

pour une voiture.

Chacun distribuant le courant à 16 voitures, les valeurs de $\sqrt[2]{(I^2) \text{ moyen}}$ deviennent

394 ampères et 320 ampères ;

Le calcul des feeders donne

$$\text{Feeders} \begin{cases} S' \ \dfrac{1{,}7 \times 4080 \times 394}{64{,}52 \times 100} = 425 \text{ m/m}^2 \text{ (forcé)} \\ S'' \ \dfrac{1{,}7 \times 4080 \times 320}{64{,}52 \times 100} = 345 \text{ m/m}^2 \text{ (forcé)} \end{cases}$$

Digitized by Google

Nous croyons que cette méthode graphique de calcul des réseaux de tramways n'a pas encore été appliquée. On se base généralement sur une perte maximum, employant ainsi beaucoup trop de cuivre, ou sur une perte moyenne due au courant moyen, qui est absolument fausse. Ainsi en planimétrant les surfaces 2, fig. 4, 5, on trouve que l'ordonnée moyenne égale 4,2 centimètres, ce qui correspond à

$$4{,}2 \times 4{,}62 = 19{,}4 \text{ ampères},$$

soit, pour 32 voitures, 620 ampères, alors que la $\sqrt{\ }^2$ de la moyenne des carrés donne 714 ampères.

La charge moyenne de l'usine sera obtenue en prévoyant 620 ampères au régime de 589 volts, soit 366000 watts. C'est en fonction de cette charge moyenne qu'il faudra étudier le type de machines à vapeur à employer. Nous consacrerons un chapitre spécial à ce travail.

Montage des lignes aériennes.

Il existe plusieurs systèmes de lignes aériennes.

Les plus connus sont ceux à roulette inférieure au fil (Thomson-Sprague, Dickinson) et ceux à frotteur (ancien Short, Sprague, Siemens).

A) *Ligne à roulette axiale rigide* — Nous comprenons sous cette rubrique, les lignes montées pour des trolleys dont l'axe de rotation de la roulette est invariablement liée (sauf les jeux) au bras qui porte la fourche.

Nous donnons ci-contre quelques détails sur ces appareils.

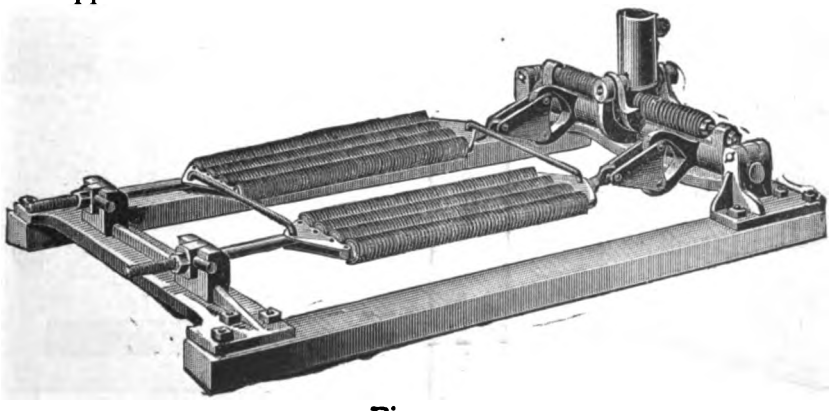


Fig. 11.

Digitized by Google

Les fig. 11 et 12 représentent deux types de bases de trolleys très usités aux Etats-Unis.

Dans le premier type (fig. 11), le bras est sollicité à se maintenir vertical par deux jeux de ressorts; l'un presse le mât contre le fil, l'autre tend à le ramener dans le plan central de la voiture ; le bras est en quelque sorte porté par un joint universel et possède une grande élasticité de déplacement.

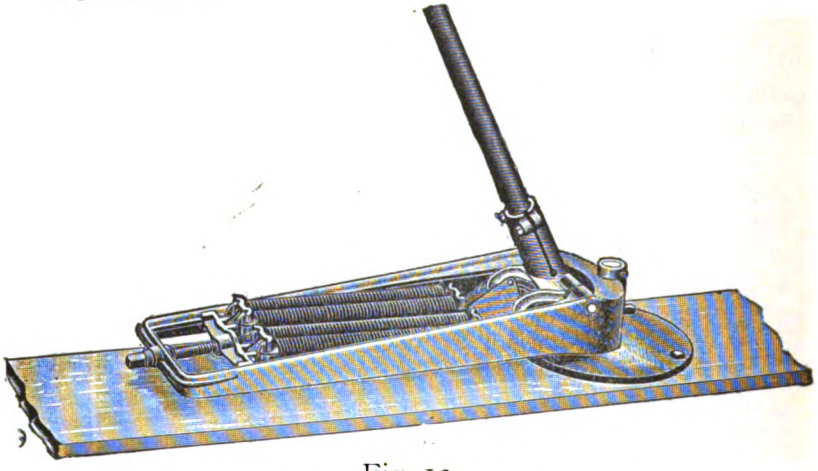


Fig. 12.

Le type de la fig. 12 ne possède qu'un jeu de ressorts pressant le trolley sous le fil. Le déplacement angulaire en projection horizontale est obtenu par pivotement du cadre portant les ressorts et le mât.

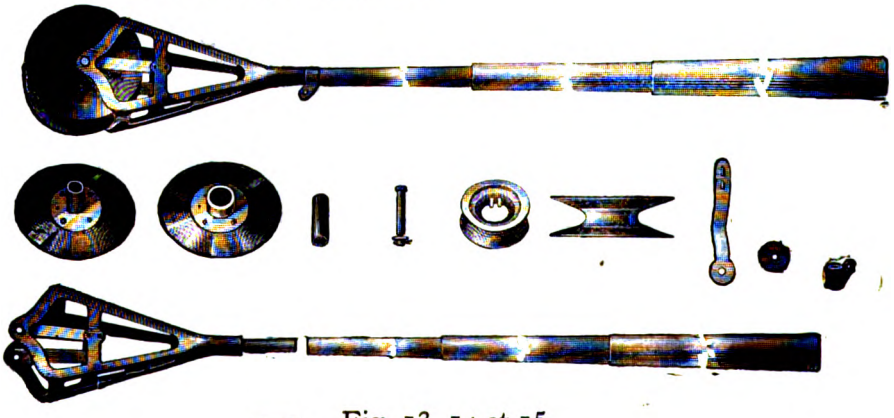


Fig. 13, 14 et 15.

Digitized by Google

La fig. 13 montre le mât du trolley complet amorcé dans les fig. 11 et 12. Ce bras est cônique en acier, d'une pièce et non en tronçons comme l'indique le dessin.

Les fig. 14 et 15 donnent les détails du mât que nous nommons par ordre dans le sens de la flèche :

L'anneau porte corde; la rondelle; le ressort de contact; la poulie complète; la gorge centrale de la poulie; le pivot en acier; la buselure en graphite; les joues en tôle estampée encadrant la gorge.

Par suite du mode de liaison de son axe, la roulette se déplace transversalement, dans une zône peu étendue au-dessus de l'axe de la voie.

On voit en fig. 16 les deux positions extrêmes que peut prendre la roulette par suite du déplacement projeté horizontalement, du bras autour de son centre. Ces deux positions situées symétriquement de part et d'autre de l'axe de la voie, sont distantes d'une longueur D qui varie suivant la gorge de la roulette, entre 1^m et 1^m25. Si l'on dépasse ces positions, l'angle B devient supérieur à l'angle d'ouverture de l'hyperboloïde de la roulette, un grippement se produit et le trolley s'use inégalement ou saute du fil sous la poussée des ressorts.

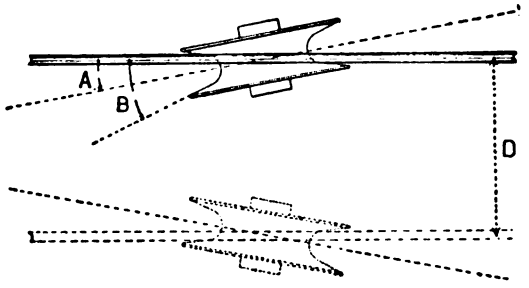


Fig. 16

Les trolleys du genre figuré ci-dessus, imposent donc l'obligation de maintenir le fil de trolley dans une zône de contact variant avec le rayon des courbes.

En courbe le fil est monté suivant les côtés d'un polygone dont les longueurs varient avec ce rayon. On

Digitized by Google

peut déterminer pratiquement ces dimensions en traçant DA et AB faisant entre eux l'angle α (fig. 17) égal à l'angle A de fig. 16.

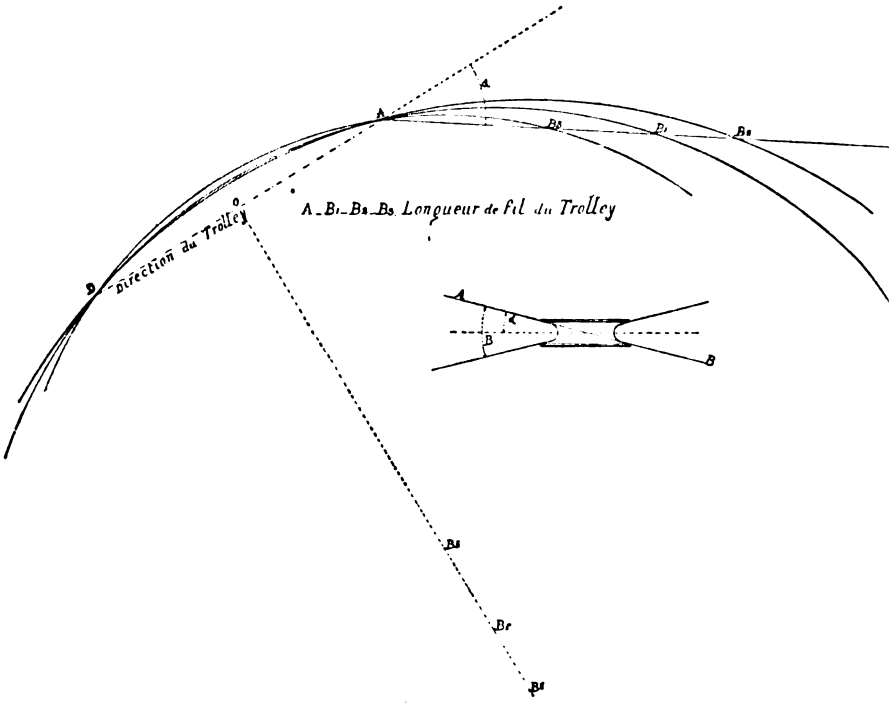


Fig. 17 et 18.

Supposons que AD soit la projection horizontale du bras de trolley, la roulette étant en A, le centre en D. Le centre D faisant partie du centre de la voiture se trouve toujours dans l'axe de la voie. Si la roulette A se trouve en ce moment en un point du fil aérien qui soit précisément un des sommets du polygone constitué par ce fil, c'est en ce point que l'une des positions extrêmes de fig. 16 ne devra pas être dépassée : or, le sommet du polygone qui est inscrit dans la courbe axiale se trouve lui-même dans l'axe. Donc la projection AD du trolley est une corde de

Digitized by Google

la courbe axiale de la voie. AB est la direction du côté du polygone, côté qui est inscrit dans la courbe axiale. Si la courbe est un arc de cercle, il suffit de faire passer par A et D une série de circonférences de rayon variable qui couperont AB en B_1, B_2, B_3, en déterminant les longueurs des côtés du polygone, AB_1, AB_2, AB_3, correspondant aux rayons AB_1, AB_2, AB_3.

Voici quelques résultats :

	ANGLES DE LA ROULETTE		RAYONS
	1/5	1/6	
Portées	7,00m	5,50m	25m
	13,10	11,00	40m
	27,50	23,00	75m
	47,50	39,00	125m

Partant de ces données, on trace sur un plan à l'échelle convenable le montage complet de la ligne.

On calcule les réactions sur les poteaux en faisant les hypothèses suivantes :

Poteau portant une console double : effort horizontal de 125 kilogrammes au sommet.

Poteau d'angle ou de courbe : la réaction est donnée en partant de la tension de 350 kilogr. dans le brin le *moins* tendu du fil de trolley. On s'exposerait à de graves mécomptes en comptant sur cette tension normale dans le brin le *plus* tendu, car alors le brin moins tendu ne se comporterait pas bien et le réglage de la ligne exercerait sur le poteau un effort supérieur à celui pour lequel il est prévu (*).

Les poteaux terminus sont calculés en fonction de la tension correspondante à la portée du fil de trolley. Pour une portée de 50 mètres, des essais faits à Darlaston ont indiqué une tension de 508 kilogr. dans le fil.

Les poteaux pour suspension latérale du fil de trolley doivent être calculés en fonction de la flèche du fil transversal. Pour une portée de 12 mètres la tension ne doit pas dépasser 125 kilogrammes pour un fil supporté.

(*) Des erreurs semblables ont été souvent commises à l'origine de l'introduction de la traction électrique.

Digitized by Google

Les poteaux peuvent être construits en forme de poutrelles ⊢⊣ (Levêque) (fig. 19), en treillis (Frederix) (fig. 20) ou en tubes d'acier (Walworth) (fig. 21) travaillant à 10^k par mm^{-2} aux prix respectifs de 22, 30, 55 francs les 100 k°. La flèche des poteaux ne doit pas dépasser 125 $^m/_m$ au sommet sous l'effort maximum.

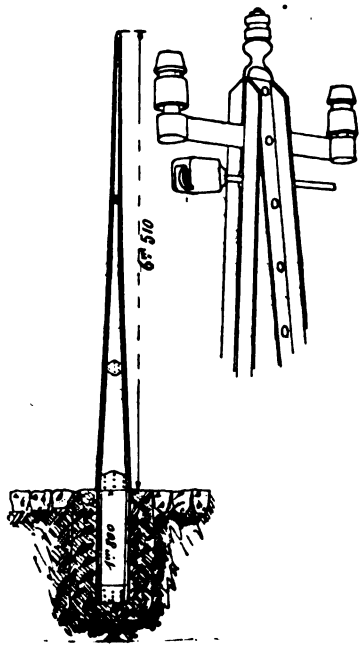
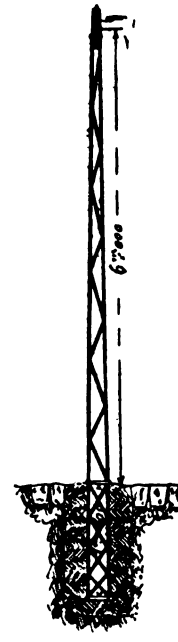


Fig. 19.
Poteau Levèque.



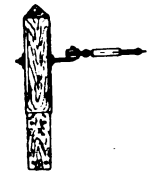
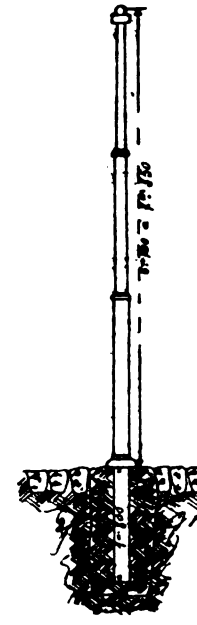


Fig. 20
Poteau Frederix



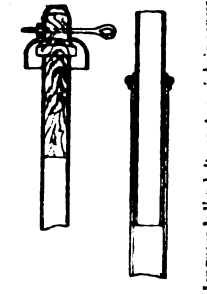


Fig. 21
Poteau Walworth

Digitized by Google

La pose d'un poteau doit se faire dans un cube de béton de ciment ; le montage coûte de 12 à 15 francs par poteau, y compris le bétonnage, mais non la mise à pied d'œuvre.

Après le montage des poteaux, on procède à l'installation des moyens de support du fil trolley, fils transversaux ou consoles. On opère ensuite le déroulement du fil de trolley que l'on fixe provisoirement à ses supports, à l'aide de crochets. On effectue enfin la tension aux points d'ancrage de la ligne. Lorsque toute la ligne est ainsi tendue, on procède à la soudure des pièces d'attache définitives.

Systèmes Dickinson à roulette radiale mobile. — Il est possible de donner une souplesse beaucoup plus grande au système rigide de prise de courant que nous venons de décrire. Une disposition intéressante a été appliquée avec succès au réseau de la South Staffordshire Tramway C°. (*)

Il est évident que si l'on pouvait augmenter l'angle A de la fig. 16, et par conséquent l'angle X de la fig. 17, la zône de déplacement du trolley augmenterait ainsi que la longueur du côté du polygone, ce qui aurait pour effet de diminuer considérablement le nombre de points de rejettement du fil de trolley dans les courbes et ne nécessiterait plus de maintenir le fil dans une zône très voisine de l'axe de la voie en alignement droit. Mais l'ouverture A ou α de la roulette est limitée par le guidage de la roulette par le fil. La solution choisie au South Staffordshire consiste à rendre le plan vertical de la roulette mobile avec sa fourche, autour d'un axe vertical passant par le milieu de l'axe de rotation de la poulie. L'effet de cette disposition, dont on lira plus loin le détail, est de simplifier la construction du réseau dans les proportions indiquées par les fig. 22 et 23, représentant les deux études qui furent faites pour le passage du Walsall-Bridge à Darlaston l'une (fig. 22), d'après le dispositif Dickinson, et l'autre (fig. 23)

(*) Cette solution vient d'être également adoptée à Bristol.

Digitized by Google

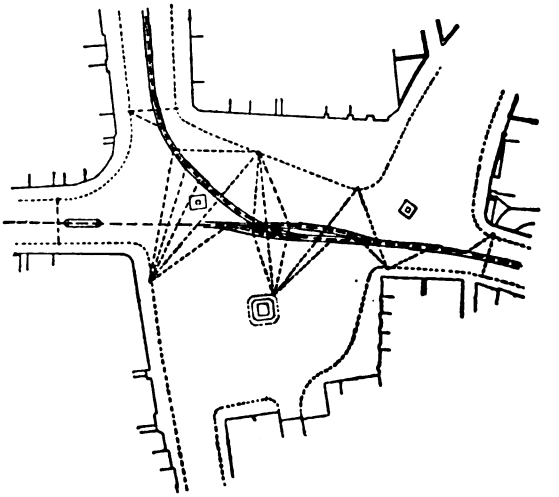


Fig. 23

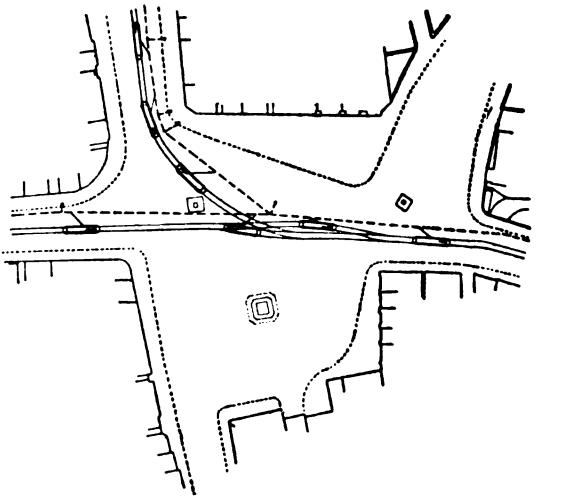


Fig. 22

d'après les dispositions usitées en Amérique. On remarquera, d'après les fig. 22, 24 et 29, que tout le système conducteur aérien a été reporté latéralement aux voies, ce qui a permis d'éviter tout fil tendeur transversal et de rapprocher entr'eux les deux fils de trolley E et E' (fig. 24),

Digitized by Google

en même temps que de rendre possible l'emploi de la voiture à impériale usitée dans certaines exploitations. L'aspect encombrant des réseaux aériens est amélioré et prend un caractère de légèreté qui frappe à la première visite d'une installation de ce genre. Cette disposition entraine également une certaine économie de poteaux, de tendeurs et surtout de montage.

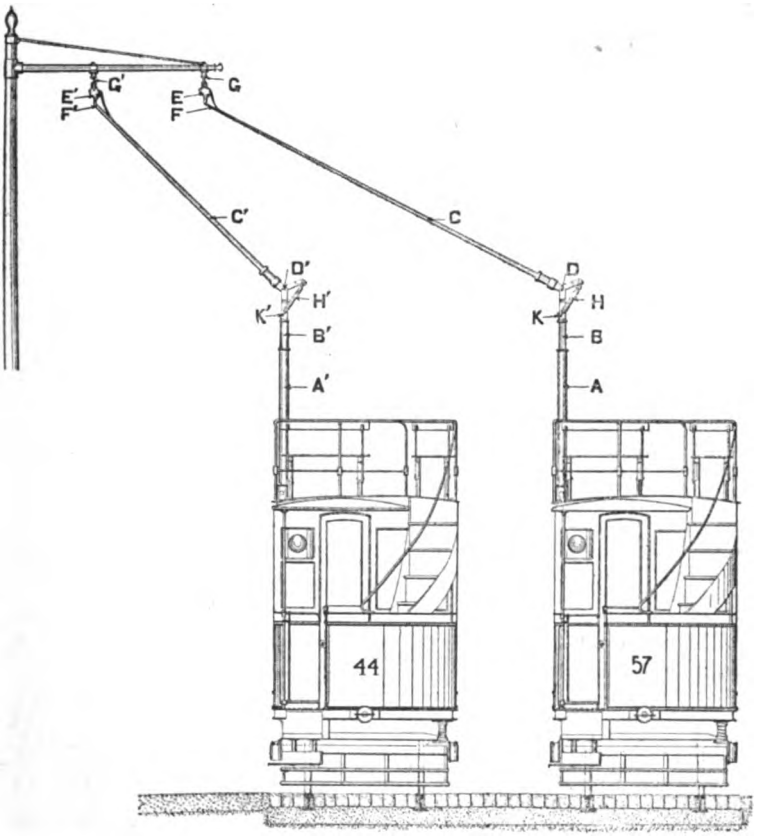


Fig. 24.

La fig. 24 représente l'appareil capteur du courant. Sur un mât A, fixé au toit de la voiture, est ajusté un

Digitized by Google

pivot B qui porte la tige C ou trolley, articulée au genou D. A l'extrémité de la tige se trouve le support de la poulie pivotant près de l'ergot E enté sur la tige. Ce dispositif détaillé dans les fig. 25, 26, 27 et 28 est conçu

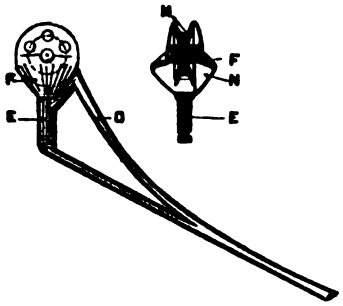


Fig. 28 — Poulie Dickinson

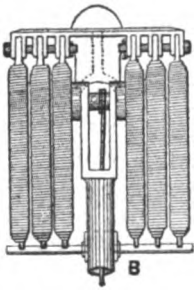


Fig. 27. — Montage des ressorts

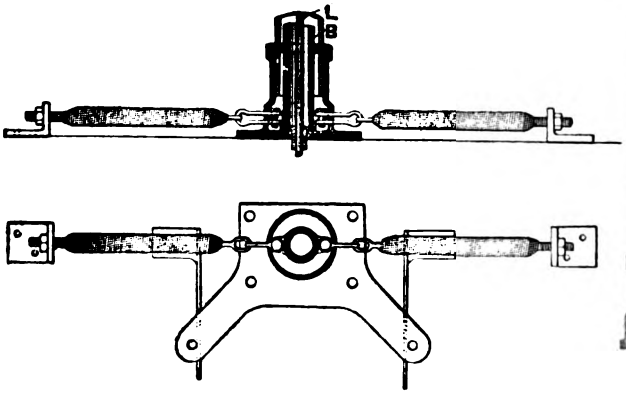


Fig. 26 — Base du mât.

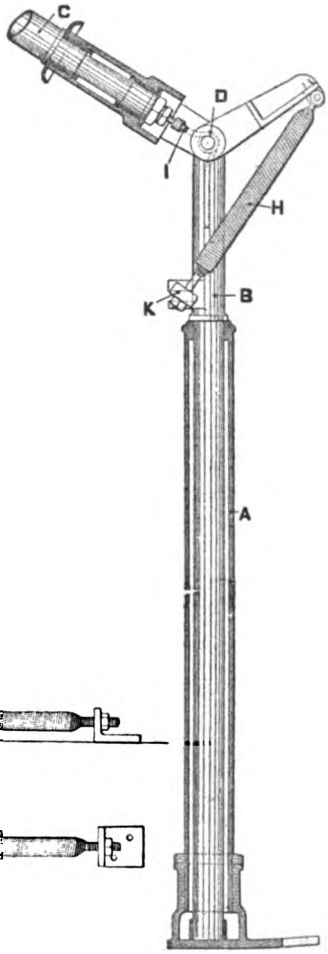


Fig. 25. — Mât du Trolley.

Digitized by Google

de telle sorte que dès que la tige de trolley rencontre le fil conducteur du courant, la poulie est automatiquement amenée par dessous.

Près du genou D sur le court levier, et au pied du mât A formant la douille du pivot B, agissent des ressorts réglés pour permettre la radiation de l'appareil.

Les limites de cette radiation, ainsi que l'indique la fig. 29, sont données par la longueur de la tige de trolley en y suppléant, pour certains cas, par la fixation de son mât vertical à pivot au bord de la toiture.

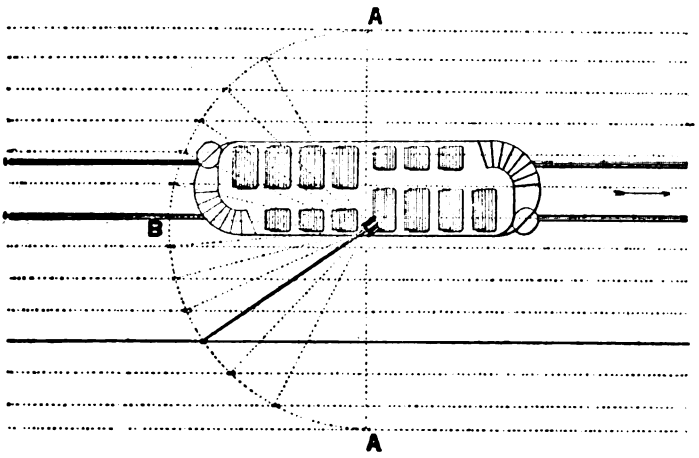


Fig. 29.

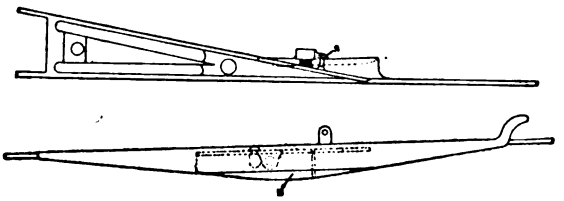


Fig. 30.

Digitized by Google

Aux croisements et liaisons, un appareil représenté par la fig. 30, porte une langue mobile M surbaissée, qui s'ouvre quand la poulie vient du côté des deux voies, et qui, au contraire, conduit la poulie sur la ligne de l'évitement quand elle vient du fil unique, contre le support duquel sa pointe est maintenue par un ressort R.

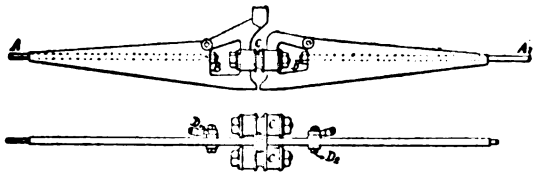


Fig. 31.

Les sectionnements du fil de trolley sont obtenus au moyen de deux appendices surbaissés (fig. 31), séparés par des boulons isolés C et un espace libre, soudés chacun à l'une des extrémités du fil de trolley A, lequel est aussi fileté et serré par les écrous B. D_1 et D_2 sont les prises de courant reliées à des câbles isolés.

Les poteaux usités dans l'installation en question se composent d'une portion de fût cylindrique (fig. 32) et d'un mât cônique d'une pièce auquel est fixée la console portant les fils de trolley en E. Un câble isolé part du feeder L et traverse le centre du poteau à la manière ordinaire pour alimenter le fil de trolley. Chaque boîte de connection de feeder est étanche et munie d'une cloche qui la garantit contre les entrées d'eau ; à chacune des boîtes le feeder est coupé et la connection entre sections, réalisée à l'aide d'un pont amovible, afin de faciliter la recherche des défauts qui devient ainsi très rapide.

Digitized by Google

Dans ce système, la ligne aérienne est supportée à l'aide d'appareils analogues à ceux dont on se sert dans les systèmes ordinaires. Toutefois, il est d'usage de distancer davantage les supports. La portée de 50 mètres est préconisée par les ingénieurs de la Société des Tramways de South Staffordshire.

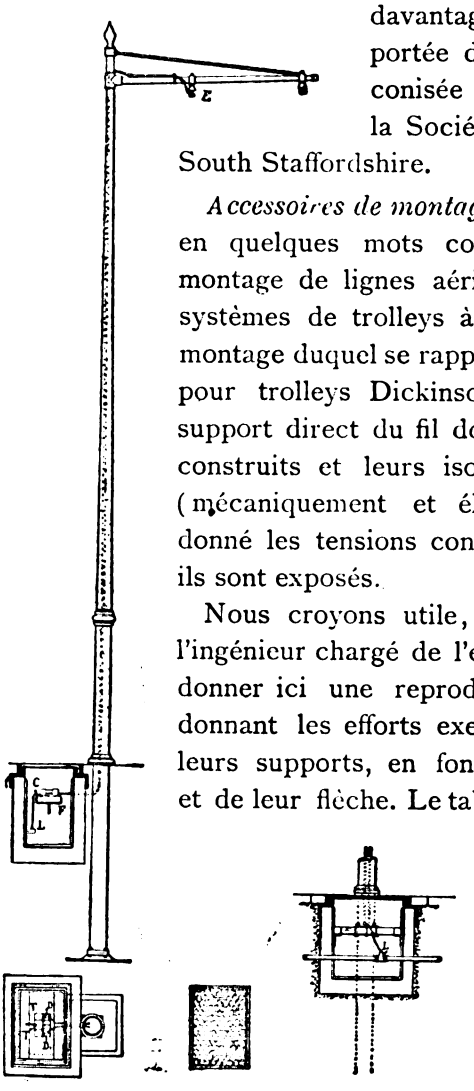


Fig. 32.

Accessoires de montage. — Nous avons dit en quelques mots comment se faisait le montage de lignes aériennes, à propos des systèmes de trolleys à roulette axiale fixe, montage duquel se rapproche celui des lignes pour trolleys Dickinson. Les appareils de support direct du fil doivent être solidement construits et leurs isolants très résistants (mécaniquement et électriquement) étant donné les tensions considérables auxquelles ils sont exposés.

Nous croyons utile, au point de vue de l'ingénieur chargé de l'étude d'un projet, de donner ici une reproduction d'un tableau donnant les efforts exercés par des fils sur leurs supports, en fonction de leur portée et de leur flèche. Le tableau ci-après (fig. 33) correspond à une section de 10 $^{m}/_{m^2}$ de cuivre nu.

Digitized by Google

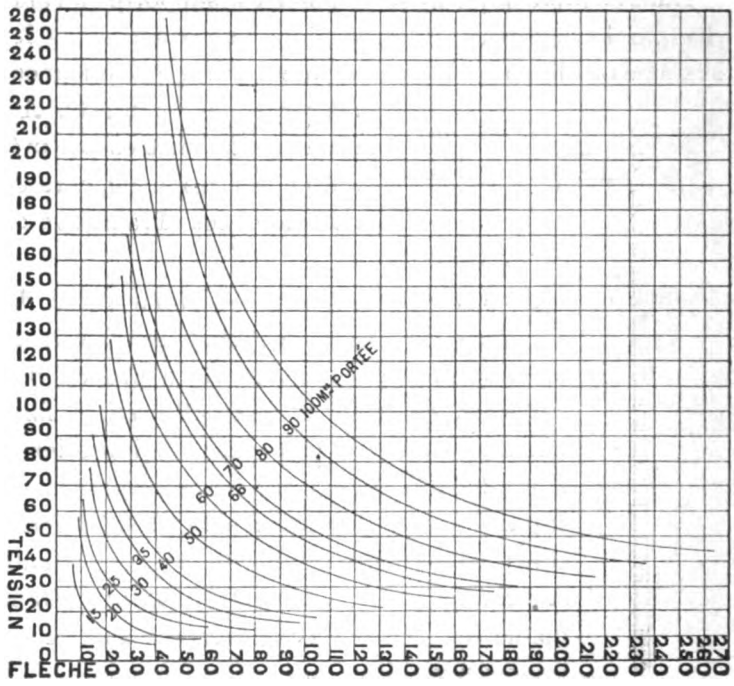


Fig. 33.

D'une manière générale, et dans la plupart des systèmes à fil aérien, on isole le fil de trolley tous les 300 à 400 mètres, en intercalant un isolateur de section, un plomb fusible, un raccord au distributeur et un parafoudre. Les ancrages varient suivant les installations. Dans certains cas les ancrages sont distants de 300 à 600 mètres. La South Staffordshire Tramway C° les a supprimés complètement. A mesure que la fabrication de fils de grande longueur se perfectionne et que les appareils intercalés dans le fil s'améliorent, la nécessité des ancrages au point de vue des bris diminue. Aussi est-il probable que l'on verra diminuer peu à peu leur nombre et par là même la complication d'aspect de ces réseaux.

Digitized by Google

Il est probable aussi que l'emploi d'un fil aérien spécial aux voitures marchant dans un sens déterminé se répandra dans les lignes à simple voie, toutes les fois que les croisements sont rapprochés ; les aiguilles constituent des points faibles dans tous les systèmes.

Fixation des fils. — Les fils sont fixés aux appareils de la ligne à l'aide de pinces dont voici les types généraux.

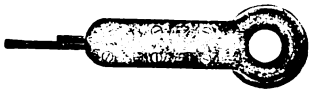


Fig. 33.

Fig. 33. — *Œillet* en deux pièces réunies par des vis, prenant le terminus du fil de trolley recourbé en courte queue, pour renforcer son attache aux poteaux ou ancrages terminus par l'intermédiaire de tendeurs isolés ;



H — Fig. 34.

Fig. 34. — *Pince de support d'ancrage* pour isolateur munie de deux oreilles pour fils d'ancrage. Ce fil est soudé dans la gorge inférieure.



Fig. 35.

Fig. 35. — *Pince de support à joint* renforcée, dans la gorge de laquelle on soude les bouts de deux rouleaux de fil, lesquels bouts seront redressés en crochet et soudés à nouveau dans les rainures supérieures ; se fixe à un isolateur.



Fig. 36.

Fig. 36. — *Boulon d'isolement* se vissant à la partie supérieure des pinces fig. 34 et 35

Digitized by Google



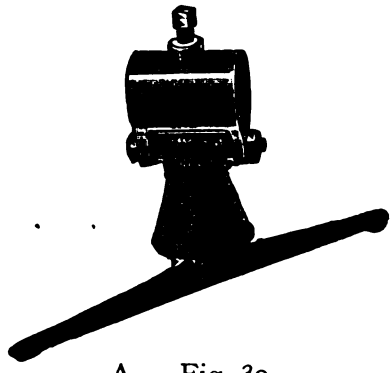
F — Fig. 37.

Fig. 37. — *Isolateur monté.* — La pince est une simple pince de support sans ancrage ni raccord. S'emploie avec des fils transversaux en ligne droite.



B — Fig. 38.
(G) même appareil
avec une seule oreille.

Fig. 38.— *Isolateur monté.*— S'emploie en droite mais surtout en courbe comme support et sommet de polygone. Le même, avec une seule oreille, comme sommet de polygone.



A — Fig. 39.

Fig. 39. — *Isolateur monté.* — Pour console, en ligne droite ou en courbe.

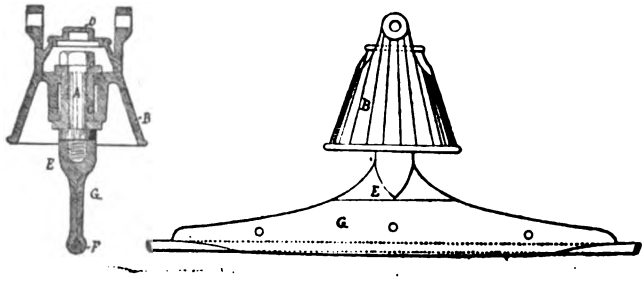


Fig. 40

Fig. 40. — *Isolateur monté.* — Pince Dickinson en deux

Digitized by Google

pièces rapportées par rivure, sans soudure. S'adapte en droite ou en courbe, avec montage sur fils transversaux ou consoles.



G — Fig. 41.

Fig. 41. — Même office que fig. 37.



G — Fig. 42.

Fig. 42. — Même office que fig. 37 (hypothèse d'une seule oreille).



Fig. 43. — D

Fig. 43. — *Tendeur à isolement* ; sert aux ancrages et aux attaches des fils transversaux aux poteaux et autres supports.

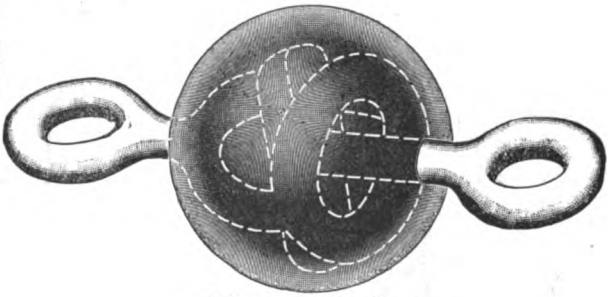


Fig. 44. — E

Fig. 44. — *Isolateur globe* ; s'intercale dans tous les fils d'ancrage et de support comme isolement supplémentaire lorsque le support n'est pas isolé par lui-même comme le serait un poteau en bois.

Digitized by Google

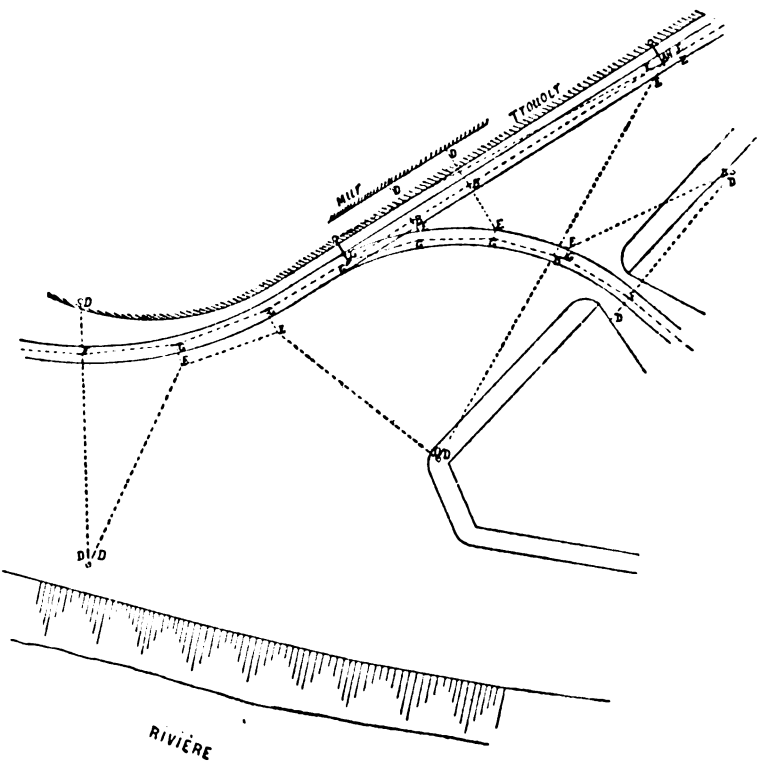


Fig. 45.

Fig. 45. — Diagramme comportant une courbe, un alignement droit, un ancrage et un évitement. Les lettres se rapportent aux accessoires usités et compris dans les fig. 33 à 44.

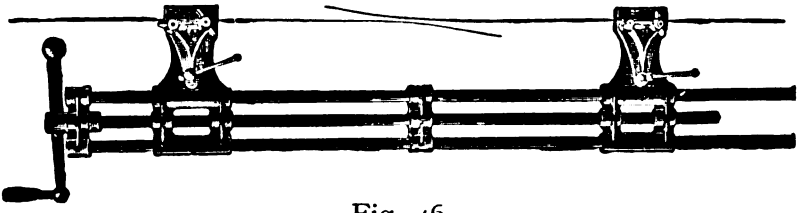


Fig. 46.

Digitized by Google

Fig. 46. — *Tendeur à vis* pour rapprocher deux bouts de fil brisés à ligaturer ou à souder.

Fig. 47. — *Parafoudre.* Une série de tubes contenant des fils très rapprochés sont successivement insérés en dérivation sur la ligne, chaque fois que l'un des tubes est frappé par la foudre, par suite de la fusion des fils qui laissent échapper les contacts à charbon dont l'un est visible dans le haut à droite du dessin.

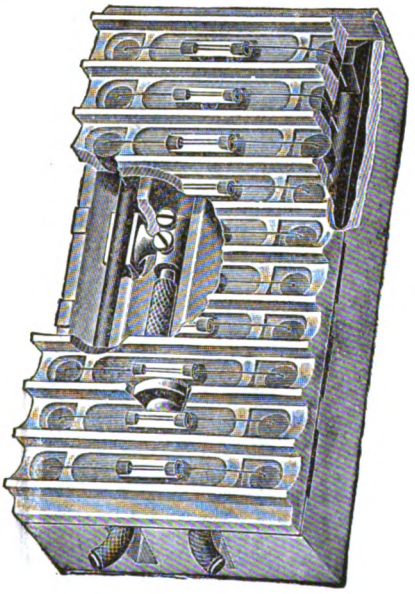


Fig. 47.

Fig. 48. — Détail du tube du parafoudre fig. 47.



Fig. 48.

Digitized by Google

Fig. 49. — Chariot à tourelle pliante pour le montage des lignes.

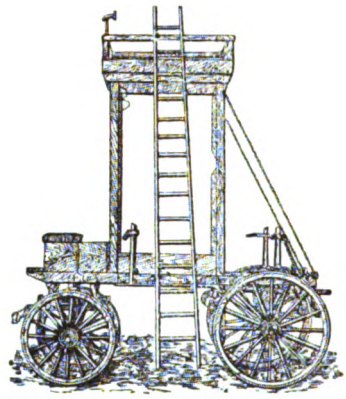


Fig. 49.

Fig. 50. — Montage d'une perceuse à double rochet pour le perçage de rails Vignole afin de river les connections.

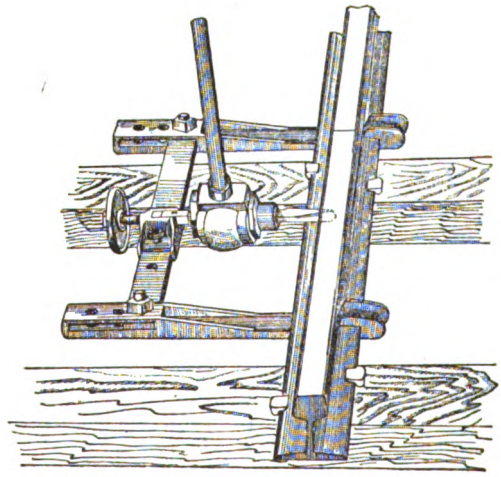


Fig. 50.

Digitized by Google

Fig. 51. — Perceuse pour rail Demerbe.

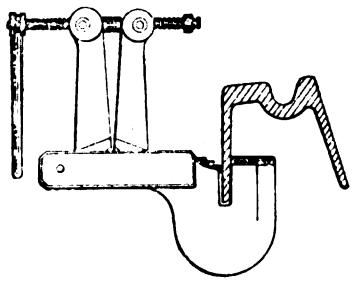


Fig. 51.

Les lignes aériennes pour tramways sont susceptibles de grands perfectionnements. Elles constituent actuellement le seul moyen d'application de la traction électrique par transmission directe du courant électrique, dont une expérience déjà longue ait démontré les avantages économiques considérables.

Une forte tendance existe en ce moment en Amérique, le pays d'origine des systèmes « Overhead », en vue de ramener tous les câbles aériens sous le sol, dans des conduites appropriées. Ces conduites très dispendieuses, que l'on peut faire très semblables à celles des câbles funiculaires, se comporteront électriquement d'une manière parfaite si elles sont bien drainées et parfaitement entretenues.

Les systèmes à contacts séparés, rail central interrompu, posés à la surface du sol et munis d'interrupteurs ou distributeurs automatiques, paraissent moins coûteux que la conduite à rainure continue, mais à part la ligne de l'exposition de Lyon, il n'y a pas d'exploitation régulière en service.

D'un autre côté, on ne saurait suivre sans intérêt ce qui se poursuit au point de vue de la traction par voitures automotrices à accumulateurs ; il paraît évident que ces

Digitized by Google

appareils sont susceptibles de modifications très importantes, lorsque l'on songe que la masse réellement active de leur matière, ne représente que le 1/5 ou le 1/6 de la masse engagée dans les réactions chimiques.

Il ne saurait toutefois être nié que le système des fils aériens conservera une place marquée par l'économie de son installation et de son exploitation, dans l'application de la traction électrique, aux lignes vicinales et à la traction des tramways urbains dans beaucoup de cas : de fortes rampes et une grande densité de service excluant les préoccupations esthétiques pour les considérations économiques.

Les divers modes d'application de l'électricité aux tramways auront tous leur place dans le développement considérable que prennent ces réseaux. Le champ des accumulateurs s'agrandira surtout dans les villes peu accidentées ainsi que pour de longues lignes extérieures à faible fréquence, tandis que le champ des fils aériens se limitera aux lignes extérieures fréquentées et à tous les profils très accidentés, pendant que les systèmes souterrains s'introduiront dans les artères à grande circulation des villes bien entretenues et à profil dur.

Insensiblement s'équilibreront les mérites de chaque système grossis par les besoins de la concurrence. Alors s'établira le caractère lucratif vraiment industriel de la traction électrique, lorsque le marché sera dégagé des tapageuses préoccupations spéculatives qui marquent l'introduction des industries neuves ; en même temps, cessera le déplorable régime des garanties si rigoureuses que les risques n'en sont consentis par le vendeur qu'avec la présomption qu'elles s'évanouiront à la première contestation, et avec l'espoir de forcer les prix en proportion de l'apparence des risques.

La période de transition actuelle ouvre à l'ingénieur électricien, au praticien, de larges horizons de perfection-

Digitized by Google

nements qui sont le propre de la science belge, et dont il appartient à notre Institut d'Ingénieurs électriciens de prendre possession, pour répondre à la haute impulsion de progrès qui a présidé à sa fondation et que sa savante direction lui conserve avec persévérance.

W. DIERMAN.

Digitized by Google

CHRONIQUE

Informations. — Nous apprenons le mariage de notre camarade M. Emile Masson avec Mlle Jeanne Gilet ; celui de notre camarade M. Paul Grottendieck avec Mlle Emma Dubois ; celui de notre camarade M. Léon Noirfalise avec Mlle Juliette Soubre ; celui de notre camarade M. Maurice du Welz avec Mlle Elisabeth Pirlot et celui de notre camarade M. Edouard Baivy avec Mlle Marthe Sapin.

La Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône ouvre un concours pour une distribution d'énergie électrique à Lyon. Les concurrents qui désirent y prendre part doivent en faire la demande au Directeur des travaux des Forces motrices, 37, rue de la République, à Lyon, qui leur adressera le programme et les pièces annexes.

Notes de voyage. — *Les ateliers de construction d'Oerlikon ; le tramway électrique de Zurich ; le tramway électrique de Milan ; les ateliers Brown et Boveri à Baden (Suisse).* — Récemment, à l'occasion de l'un de nos derniers voyages, et grâce aux lettres d'introduction que M. Eric Gerard a bien voulu nous donner, nous avons pu visiter les ateliers de construction d'Oerlikon et la fabrique de dynamos Brown et Boveri de Baden. Nous allons consigner ici quelques observations que nous avons eu l'occasion de faire pendant nos visites.

Les ateliers d'Oerlikon sont à présent presque complètement occupés par la construction des dynamos et des appareils électriques ; une petite partie de ses moyens de production seulement est encore réservée à la construction des cylindres à moulin.

Les ateliers sont très vastes et, dans une seule visite, il est bien difficile de se faire une idée de la manière avec laquelle les différents travaux sont distribués et reliés entr'eux.

Digitized by Google

Le chemin de fer qui sert de communication entre les usines et la gare d'Oerlikon, et relie les différents bâtiments entre eux, est mû par l'électricité : une locomotive qui reçoit le courant par un trolley remorque les wagons.

La force motrice arrive aux ateliers sous forme de courants triphasés à la tension de 13000 volts. La station génératrice se trouve à Hochfelden distant de 23 km. d'Oerlikon : les génératrices sont à basse tension et montées directement sur l'axe vertical des turbines. Les transformateurs qui servent à élever la tension à la station génératrice et ceux qui la réduisent à la réceptrice, sont placés dans des espèces de cuves en fonte remplies d'huile ; une petite pompe mue par un moteur à courants triphasés met l'huile en circulation. Le courant continu nécessaire pour certains services est obtenu à l'aide de dynamos activées par des moteurs triphasés. La distribution de force dans les ateliers est faite par des moteurs triphasés ; elle est assez fractionnée et plusieurs machines ont un moteur spécial.

Lors de notre visite, il y avait en construction des alternateurs, des moteurs polyphasés, des transformateurs et toutes sortes de dynamos à courant continu.

Les alternateurs sont encore du type bien connu à inducteur mobile avec une seule bobine centrale. Comme particularité, nous avons observé que les parties extrêmes des pièces polaires sont composées de tôles en fer isolées entre elles et prises dans la fonte lors de la coulée de l'inducteur. Dans les grandes machines, les pièces polaires de l'inducteur sont fixées avec boulons sur le noyau de la grande bobine centrale, tandis que dans les petits types tout l'inducteur est coulé en deux pièces.

Les induits de ces machines sont formés d'un ensemble de cercles en tôle de fer, maintenus en place par un cadre de fonte. Pour les basses tensions, l'enroulement est formé de fortes barres en cuivre logées dans des trous percés dans le fer et réunies par des pièces de connexion rigides. Pour les hautes tensions (on arrive jusqu'à 5000 volts),

Digitized by Google

l'enroulement est formé par une série de bobines soigneusement isolées.

Ces alternateurs sont construits avec beaucoup de soins et de précision et le type de machine se recommande par sa forme simple, pratique et solide.

Nous avons vu là une quantité de moteurs biphasés et triphasés de toutes grandeurs et puissances : on dirait que l'emploi de ces machines s'étend déjà très largement. Un ingénieur de la maison nous disait que pour eux, le problème de la transmission et de la distribution de puissance avec les courants polyphasés est complètement résolu : le système aura sûrement un succès brillant. Cependant on a dû nous avouer que seulement les petits moteurs démarrent à pleine charge et que les distributions mixtes de force et lumière donnent lieu à des inconvénients très sérieux. Il paraît toutefois que les grands moteurs démarrent à 3/4 de charge. Le type des moteurs ne présente aucune nouveauté essentielle : c'est toujours la même armature à cage d'écureuil. Pour des moteurs d'une dizaine de chevaux, ils garantissent un rendement industriel de 0,88 avec un poids de moteur d'environ 47 kg. par cheval. La fréquence ordinairement employée est de 50 : le nombre de tours pour les petits moteurs est d'environ 1400 et descend à 900 pour les moteurs de 10 HP, la variation de vitesse entre la pleine charge et la marche à vide étant de 8 %.

Parmi les *dynamos à courant continu*, nous avons remarqué de grosses génératrices destinées à la Fabrique d'aluminium de Neuhausen. Elles sont à axe vertical pour le couplage direct avec les turbines et doivent débiter 14000 ampères sous la différence de potentiel de 20 volts. Les armatures enroulées à tambour multipolaire ont un diamètre d'environ trois mètres et portent deux collecteurs. Pour les machines ordinaires destinées à l'éclairage et au transport de force, c'est toujours le type multipolaire qu'on construit ; pour les petites machines bipolaires, on a étudié un nouveau type semblable aux Lahmeyer, qui produit à la fois une machine solide et beaucoup plus rationnelle que le type Manchester.

Digitized by Google

Nous avons observé une tendance à l'emploi des enroulements à tambour multipolaire pour les voltages qui ne dépassent pas 150 volts. Les conducteurs sont alors des barres cylindriques en cuivre, disposées dans des trous percés dans les tôles, et reliées entre elles par des bandes en cuivre rigides, courbées de manière à ne pas se toucher.

Nous devons dire un mot du procédé spécial de préparation des tôles. Chaque tôle, découpée d'abord, est passée dans une poinçonneuse qui perce une couronne de trous près de la périphérie. Les tôles sont ensuite rassemblées, isolées l'une de l'autre par des disques en papier qui ont été soumis à un découpage analogue, et comprimées à la presse hydraulique. Quand elles sont enfin montées sur leurs croisillons et tournées, un ouvrier avec un outil spécial enlève l'épaisseur de fer qui reste entre les trous et la surface.

Les bâtis des dynamos à courant continu, spécialement pour les grands types sont en acier : les carcasses des alternateurs, des moteurs polyphasés et des petites dynamos sont en fonte et sont coulées dans les ateliers mêmes.

Il y avait en construction des *transformateurs* pour courants triphasés. Ces tranformateurs sont composés de trois noyaux feuilletés qui sont réunis en haut et en bas par des anneaux composés aussi de tôles en fer : les bobines sont emmanchées sur les noyaux et reposent sur des plaques isolantes.

Les ateliers comportent aussi une usine pour la construction des petits appareils comme les interrupteurs, commutateurs, etc.

***

Comme installation faite par la maison d'Oerlikon, nous avons visité le *tram électrique de Zurich.* Malheureusement aucun agent de la direction n'était à la station centrale, en sorte que nous n'avons pu recueillir que des données

Digitized by Google

incomplètes sur l'installation et le fonctionnement de l'usine.

L'usine comporte deux moteurs verticaux de 100 chev. à grande vitesse, qui commandent par une transmission à courroie deux dynamos quadripolaires à 550 volts: l'un des groupes marche, l'autre sert de réserve. Un troisième petit moteur actionne directement une dynamo bipolaire dont le but doit être de relever le voltage lors de la charge des accumulateurs.

Le but de ces accumulateurs, dont la capacité totale est de 24,5 ampères-heures, est de compenser les variations brusques de puissance dues aux démarrages.

Ils sont reliés au circuit par l'intermédiaire d'un intercalateur automatique: on nous a assuré que le service de cet appareil est parfait. Les accumulateurs sont du type Tudor. La ligne du tram a des pentes très fortes et prolongées, le long desquelles il y a production continue d'étincelles entre les roues et les rails ; ce fait semble être dû au système de pavement en macadam qui produit beaucoup de poussière, laquelle recouvre continuellement les rails.

***

C'est ici le moment de dire deux mots du *tram électrique de Milan*. Cette installation comprend aujourd'hui une seule ligne qui dessert la gare du Nord et relie la porte du Simplon à la place du Dôme, centre de la ville, avec un développement de 3000 mètres environ. Le système employé est le *Thomson-Houston* à trolley. La puissance électrique est produite à l'usine de la Société générale Italiana d'Elettricità (systema Edison), la même qui exploite l'éclairage électrique de la ville Cette usine se trouve à 600 mètres environ du milieu de la ligne où est placée la remise des voitures. En ce point, arrivent aussi deux feeders de $100^{m}/_{m^2}$ de section ; l'alimentation de la ligne est donc faite en un seul point central, les deux moitiés de la ligne pouvant au besoin être isolées séparément. Le retour se

Digitized by Google

fait par les rails et par un fil en cuivre de $8^{m}/_{m}$ de diamètre, disposé le long des rails, et relié comme ceux-ci, à la station génératrice. Aux joints des rails, il y a des connexions en fil de cuivre dont les bouts sont forcés dans des trous des rails à l'aide de coins en bronze.

On nous assure que ce système ne dérange absolument pas les communications téléphoniques, quoique, à Milan, les lignes téléphoniques aient le retour par la terre et soient disposées parallèlement à la ligne du tram sur plusieurs centaines de mètres.

Les voitures à 34 places, très élégantes, sont actuellement au nombre de 13; les châssis complets ont été fournis par la Thomson-Houston C°, et les caisses ont été construites à Milan. Les moteurs de 15 à 25 chevaux, enfermés dans leur carcasse magnétique, transmettent le mouvement aux essieux des roues par l'intermédiaire d'un pignon denté. Le rhéostat de démarrage, formé par un grand nombre de bandes minces en fer, isolées par des feuilles de mica, est placé au-dessous de la voiture. Chaque voiture consomme 500 watts-heures par kilomètre.

Les génératrices sont deux tétrapolaires à tambour de 100 kilowatts de puissance et 500 volts de tension: l'une d'elles suffit au service des 13 voitures; l'autre est de réserve. Elle sont conduites par deux moteurs très différents, l'un vertical à condenseur, construit par la maison Tosi de Legnano (Italie), l'autre une Armington Sims à grande vitesse, sans condenseur.

Les chaudières sont du type Belleville tubulaires. L'opportunité d'employer des chaudières de ce type bien qu'économique d'installation, est très discutable dans un pays où le charbon revient à 36 francs la tonne.

L'installation a fonctionné jusqu'à présent parfaitement et sans aucune interruption (8 mois d'exercice). Si on excepte les trolleys et les balais des moteurs, aucune réparation n'a dû être apportée au matériel électrique et on a jusqu'à présent tourné une seule fois, et très superficiellement les collecteurs.

Digitized by Google

Les résultats économiques de l'exploitation, ne sont pas encore publiés.

***

Les ateliers de construction de MM. Brown et Boveri, de Baden, représentent tout ce qu'il y a de plus moderne dans ce genre ; ils ont été construits, il y a deux ans, pour la fabrication exclusive des dynamos. Ils sont plus petits que les ateliers d'Oerlikon, mais la distribution des travaux y est plus nettement ordonnée et plus rationnelle.

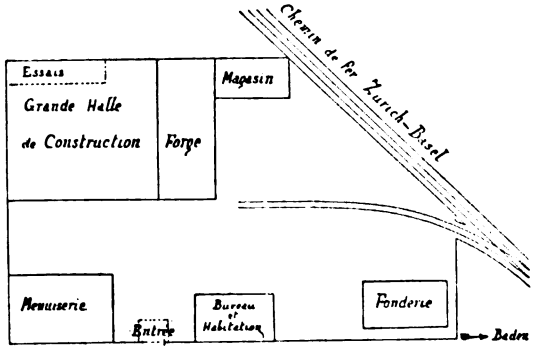


Fig. 1.

Nous donnons ici un plan schématique des usines. Le bâtiment à droite de l'entrée, à deux étages sur le rez-de-chaussée, comprend les bureaux, les salles à dessiner et l'habitation des directeurs. A gauche, sont les modeleurs au rez-de-chaussée du bâtiment et les magasins à l'étage.

Ici, la puissance motrice est fournie par la distribution d'énergie électrique de la ville de Baden. Tandis qu'à Oerlikon, ce sont les courants triphasés qui ont la préférence, Brown et Boveri emploient plus fréquemment les diphasés à quatre conducteurs. Le transport se fait à 1000 volts ; la distribution, avec la tension réduite de 100 volts, est biphasée dans la grande halle et dans les

Digitized by Google

forges et triphasée dans l'atelier des modeleurs. Ces courants triphasés sont obtenus, nous a-t-il paru, à l'aide d'un transformateur rotatif.

En parcourant la grande halle, on trouve d'abord toutes les machines-outils. Un examen rapide d'un atelier de cette importance ne permet pas une observation approfondie du détail des machines ; nous n'avons pu savoir si parmi ces machines, il y en existe spécialement construites pour un travail particulier. Nous avons pu constater toutefois que la distribution de puissance y est très fractionnée.

Sortant de la halle des outils, on rencontre la fabrication des tôles, puis celle des collecteurs et accessoires en bronze et en cuivre ; plus loin, l'enroulement des bobines et enfin le montage.

Dans ce dernier atelier, nous avons vu des alternateurs, des dynamos, des moteurs à courants diphasés et des transformateurs.

L'alternateur Brown et Boveri, quoique du même genre que celui d'Oerlikon, ne présente pas la même simplicité.

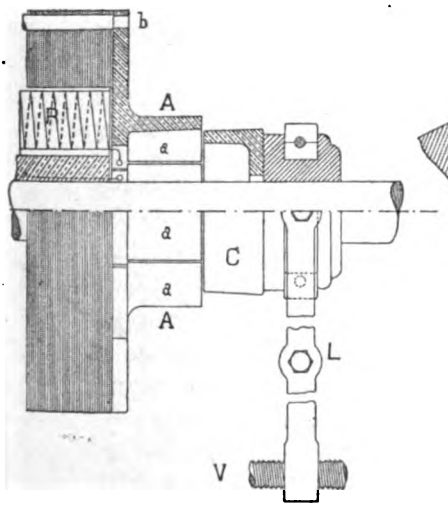


Fig. 3.

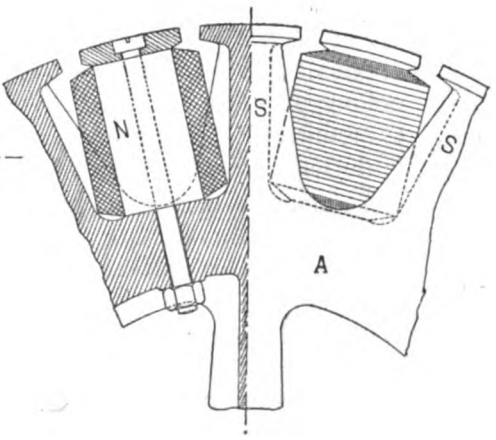


Fig. 2.

Digitized by Google

L'inducteur mobile, qui est la partie essentiellement différente, se compose d'un volant A en fonte ou en acier, calé sur l'arbre et portant une série d'expansions S terminées par des pièces polaires ; entre ces expansions, sont intercalés des noyaux N fixés par des boulons et entourés par les bobines excitatrices, de manière à avoir en bobines, la moitié du nombre des pôles. Les induits sont du même type que ceux d'Oerlikon et peuvent être construits pour des courants monophasés ou polyphasés.

Parmi un grand nombre de moteurs biphasés en construction et en essai, nous avons remarqué deux puissants moteurs prêts à l'expédition et destinés à un important transport de puissance à Romagnano Sesia (Italie).

Dans les moteurs de moyenne puissance que nous avons vus, nous avons observé une disposition spéciale pour faciliter le démarrage.

Les barres en cuivre *b* qui forment les conducteurs de l'armature sont d'un côté fermées en court circuit par une bague de cuivre comme d'ordinaire ; de l'autre sont reliées à une espèce de collecteur Gramme A, comportant un petit nombre de sections *a*, *a*.

Les sections sont reliées entre elles par des résistances R placées à l'intérieur de l'armature. La face agissante du collecteur, c'est l'intérieur. Une pièce conique en cuivre C commandée par un levier L peut être forcée dans l'intérieur du collecteur à l'aide de la vis V.

Au moment du démarrage, la pièce C est enlevée de sorte que les courants induits doivent traverser les résistances placées entre les différentes sections du collecteur ; quand la vitesse de régime est obtenue, le cône C est forcé dans le collecteur et toutes les barres sont ainsi mises en court circuit.

Nous avons questionné l'ingénieur qui nous accompagnait, sur les *moteurs monophasés asynchrones* ; il nous a dit qu'on en construit toujours et qu'ils donnent un très

Digitized by Google

bon rendement, mais lors de notre visite, il n'y en avait pas en construction ; nous avons vu seulement des petits moteurs de ce genre actionnant des ventilateurs.

Nous avons admiré sous le rapport du soin des enroulements et du fini du travail, de belles machines à *courant continu* en montage. Dans les dynamos tétrapolaires du type ordinaire, les noyaux des bobines sont toujours cylindriques, ce qui donne le minimum de développement du fil nécessaire ; les pièces polaires sont rapportées et fixées avec un boulon qui traverse tout le noyau.

Les *armatures* pour basses tensions sont enroulées à tambour avec les fils passés dans des trous du noyau ; le traitement des tôles est le même qu'à Oerlikon, sauf qu'on n'enlève pas l'épaisseur de fer entre les trous et la surface; on a ainsi le véritable induit Brown.

Sur les *moteurs diphasés* de Brown et Boveri, nous avons recueilli les données suivantes :

Les moteurs d'un cheval marchent à 1200 tours avec une fréquence de 80, pèsent 70 kilogr. et coûtent environ 500 francs.

Le moteur de 12 chevaux avec la même fréquence fait 800 tours, pèse 32 kg. par HP et coûte 1700 francs, c'est-à-dire 140 francs par cheval.

Les moteurs monophasés asynchroniques pour mêmes vitesses et fréquences sont un peu plus lourds ; le moteur d'un cheval pèse environ 100 kg. et celui de 12 chevaux, 520 kg., c'est-à-dire 41 kg. par cheval.

GUIDO SEMENZA & CARLO CLERICI.

La lampe à incandescence. — Etat actuel de sa fabrication. — *Résumé d'une conférence de M. A. Larnande, à la Société internationale des Electriciens.* — Pour arriver à rendre économique l'éclairage par l'électricité, il faut non seulement perfectionner les appareils employés, mais encore les bien connaître, de façon à les utiliser en leur faisant produire leur maximum de rendement.

Digitized by Google

En ce qui concerne spécialement la lampe à incandescence, on peut dire que les perfectionnements ont porté : 1° sur le prix de la lampe ; 2° sur sa qualité. Ces facteurs sont, dans une certaine mesure, dépendant l'un de l'autre, mais, cependant, en comparant les lampes actuelles aux lampes anciennes, on reconnaît que leur prix est très inférieur, avec une qualité pourtant très supérieure. Ce résultat provient de la sûreté avec laquelle s'exécute le travail ; autrefois, on n'examinait la lampe que lorsqu'elle était complètement terminée, tandis qu'aujourd'hui, grâce à des vérifications successives faites en cours de fabrication, on arrive à obtenir une lampe répondant exactement au but que l'on s'était proposé soit comme voltage, soit comme intensité, soit comme pouvoir éclairant.

Aussi le déchet est-il tombé de la valeur énorme de 300 à 400 pour cent, au chiffre presqu'insignifiant de 10 p. c. Le prix de revient est arrivé à un point tel que la baisse qui se produira sera sans grande importance pour le consommateur. De ce côté, il n'y a donc pas de grands progrès à accomplir.

Quant à la qualité, il y a, pour une lampe, deux facteurs à considérer : sa durée et son rendement lumineux. Anciennement, le premier de ces facteurs était seul appréciable pour le consommateur qui ne possédait aucun appareil compteur lui permettant d'estimer l'énergie électrique dépensée. La régularité de marche atteinte dans les installations modernes et les perfectionnements des instruments de mesure ont amené à constater le fait suivant, à savoir : que ce qui coûte cher dans l'éclairage électrique, c'est l'énergie dépensée et non la lampe ; il est facile de se rendre compte qu'il y a intérêt à employer des lampes marchant à un régime économique, sauf à avoir une durée moindre.

Il existe un troisième facteur qu'il faut introduire parallèlement à la durée, c'est le coefficient de baisse de lumière dû à la désagrégation du filament. Celle-ci augmente

Digitized by Google

la résistance, diminue l'intensité du courant et, partant, l'intensité lumineuse fournie. De plus, les particules de carbone viennent se coller sur la surface interne de l'ampoule et l'obscurcissent. On a reconnu expérimentalement que l'abaissement de lumière produit par le fonctionnement de la lampe est dû par parties égales à l'augmentation de résistance du filament et au noircissement de l'ampoule. On peut, avec les procédés actuels obtenir des filaments durs et homogènes avec lesquels le dépôt de particules de carbone sur le verre, au lieu de se produire brusquement pendant les premières heures de service, se fait uniformément et surtout beaucoup plus lentement.

Pour en revenir à la question de rendement, disons que l'on a aujourd'hui des lampes partant à un régime de 2,5 à 3 watts par bougie, et n'arrivant pas à 3,5 watts après 400 ou 500 heures de durée; la baisse de lumière n'atteint pas 20 pour cent. A partir de ce moment, la lampe marche dans de mauvaises conditions économiques, il faut la rejeter, la remplacer sans attendre qu'elle soit mise hors d'usage par suite de la rupture du filament.

M. Larnande examine en détail la fabrication des différents éléments de la lampe.

Le calibrage du filament, renforcé par le nourrissage, est soumis à une vérification minutieuse. Certaines lampes exigent des filaments à la fois fins et longs; on a trouvé pratique de remplacer ceux-ci par plusieurs filaments courts, placés en série.

Signalons un type particulier de filament, dit type focus. Ce filament est plat, enroulé en spires serrées en forme de ressort à boudin, ce qui permet de concentrer la source de lumière dans un très petit espace, condition indispensable des foyers à utiliser dans les projecteurs.

Les ampoules des lampes à incandescence se fabriquent actuellement, non plus par soufflage, mais par moulage, procédé plus économique.

Digitized by Google

Pour relier le filament au circuit extérieur à travers le verre de l'ampoule, on a cru pouvoir remplacer le platine par un alliage de cuivre et d'étain, mais cet essai a échoué; le platine est le seul métal qui se soude au cristal et ait le même coefficient de dilatation que lui.

Signalons, enfin, une remarque intéressante de M. Larnande relative à la comparaison de la lampe à incandescence de forte intensité avec la lampe à arc au point de vue économique. Mathématiquement, on arrive à ce résultat que la première coûte environ deux fois plus cher que la seconde. Mais la lampe à incandescence possède sur sa rivale des avantages incontestés, qui contrebalancent cette infériorité ; citons entre autres : la régularité de lumière, la facilité d'allumage, d'extinction et d'entretien, la possibilité d'installer la lampe dans telle position que l'on voudra, avantage qui n'est partagé par aucune autre source de lumière.

Un essai industriel d'éclairage au moyen de lampes à incandescence de forte intensité lumineuse est en cours à la gare du chemin de fer du Nord à Paris. Les lampes en service ont une durée dépassant 800 heures, et continuent à donner des résultats satisfaisants.

GEORGES PHILIPPE.

Iron and steel Institute. — *L'électricité comme puissance motrice dans les industries du fer et de l'acier.* — En acceptant l'invitation du Conseil de cet Institut à rédiger une note sur les applications de la puissance électrique, l'auteur peut seulement exprimer l'espoir — en dépit du peu de valeur que puisse avoir cette note en elle-même — qu'elle soit l'occasion de mettre en lumière un sujet relativement nouveau, démontré très intéressant par les ingénieurs modernes, et que, de cette façon, les opinions de gens plus expérimentés soient appelées à être émises pour éclairer davantage la question.

Digitized by Google

Durant les trois dernières années, l'auteur a été presque exclusivement occupé à appliquer la puissance électrique à différentes opérations minières et industrielles, et, au cours de ses travaux, a été frappé du large champ qui reste ouvert aux applications de cette puissance, des nombreuses branches de l'industrie auxquelles cette nouvelle puissance, et on peut le dire, cette puissance de l'avenir, est applicable.

Ayant pris pour sujet de la note : *l'Electricité comme puissance motrice dans les industries du fer et de l'acier*, l'auteur va tâcher de montrer les branches de ces industries du fer et de l'acier pour lesquelles l'électricité est appelée à jouer un rôle prépondérant dans un avenir prochain. Ce sera sa tâche dans les pages qui vont suivre, de traiter le sujet en se mettant autant que possible au point de vue des ingénieurs qui sont en relation quotidienne avec le travail du fer et de l'acier, et non au point de vue d'un ingénieur spécialement électricien.

Jusqu'ici la puissance électrique a été principalement appliquée en Angleterre à la traction, et aux différentes opérations d'une exploitation minière, extraction, épuisement, ventilation, forage, etc. ; ses principaux avantages, ses caractères particuliers dans ces applications, sont actuellement assez généralement connus.

Toutes ces applications dérivent jusqu'à présent d'une transmission à longue distance, et il y a eu une tendance générale de la part des ingénieurs à ne prendre en considération l'emploi de l'électricité, que dans les cas où la puissance doit être transmise à des distances considérables. L'auteur tient particulièrement à attirer l'attention sur ce qu'il peut appeler les transmissions à courte distance, ou concentration de puissance.

Considérant qu'elle a trait aux industries du fer et de l'acier, aux exploitations du minerai de fer, aux hauts-fournaux, aux ateliers de construction et aux chantiers

Digitized by Google

de la marine, l'auteur va essayer d'indiquer les cas dans lesquels la puissance électrique est applicable à chacune de ces industries.

I. — Transmissions a longue distance.

Exploitation du minerai de fer. — Lorsqu'on transmet l'électricité à de grandes distances, il est nécessaire pour réduire le prix des conducteurs, d'employer des courants de haute tension, c'est-à-dire que les dynamos génératrices doivent livrer leur puissance à un voltage élevé et à une faible intensité de courant. Jusqu'ici, il est d'usage dans les exploitations de mines, de transmettre la puissance à des tensions de 300, 500 ou 800 volts. De cette manière, elle peut être transmise avec une perte relativement minime à des distances de plusieurs kilomètres.

C'est pourquoi l'électricité n'a pas tardé à trouver un emploi dans les différentes opérations minières, et spécialement dans l'extraction et l'épuisement. L'auteur a eu l'occasion, il y a deux ans environ, d'appliquer l'électricité à des forages, dans les mines de Cleveland, et depuis, leur fonctionnement ayant eu un plein succès à tous égards, leur usage a été étendu à d'autres mines du district.

Le voltage dans le cas du forage électrique des roches ne dépasse pas 300, attendu que la puissance requise est relativement faible, et que les distances n'excèdent pas un ou deux kilomètres.

Dans le cas de mines de fer situées à de grandes distances de la ligne principale, ou dans le cas où une ligne spéciale doit être construite pour ces mines, on peut établir une station électrique, non seulement pour opérer le forage, l'épuisement et l'extraction, mais aussi pour engendrer le courant nécessaire à la traction sur la ligne d'embranchement.

Tout ce travail peut être effectué par le courant engendré à la mine elle-même par une seule dynamo à vapeur.

Digitized by Google

Dans les cas où plusieurs mines de fer sont situés dans le voisinage les unes des autres, on peut établir une station centrale de puissance, grâce à laquelle il n'y aurait pas à produire de la vapeur aux différentes mines, le tout étant remplacé par des moteurs électriques, mûs par une seule dynamo génératrice placée à la station centrale. Il n'y a aucune difficulté à faire marcher par l'électricité dans ces mines, l'extraction, l'épuisement, le forage et la ventilation.

Hauts-fourneaux. — On sera peut être tenté de croire que l'auteur se propose actuellement d'appliquer l'électricité à la marche des hauts-fourneaux.

Il regrette toutefois qu'il ne soit pas encore en son pouvoir de révolutionner le monde en accomplissant cela. Cependant, il chercherait volontiers l'aide des hauts-fourneaux pour la production de l'électricité, et pense qu'après une chute d'eau, un fourneau de Cleveland est le meilleur ami de ceux qui désirent produire économiquement la puissance électrique. Dans beaucoup de cas, il y a une grande quantité de gaz perdus, qu'on peut recueillir à la sortie des hauts-fourneaux. Ceux-ci sont généralement employés à chauffer les chaudières nécessaires pour actionner les machines soufflantes, etc., mais fréquemment il reste une grande quantité de gaz inemployé. C'est avec ce gaz qu'il proposerait de chauffer les chaudières de la station génératrice. La puissance ainsi engendrée, pourrait être transmise sous haute tension à des ateliers situés à une distance considérable, et elle serait transformée au besoin à une tension plus basse pour son utilisation dans les travaux.

Quant aux hauts-fourneaux eux-mêmes, il n'y a pas beaucoup d'applications où la puissance électrique pourrait être adaptée comme force motrice, sauf peut-être pour pomper à une rivière voisine l'eau de condensation. Les minerais pourraient être élevés par l'électricité.

Digitized by Google

Avec ces quelques remarques, les ingénieurs pourront facilement déterminer eux-mêmes les cas dans lesquels la puissance électrique est applicable aux mines et en relation avec les hauts-fourneaux.

II. — Transmission a courte distance et concentration de puissance.

Travail du fer et de l'acier. — Par transmission à courte distance, l'auteur entend la distribution de l'énergie électrique nécessaire pour actionner les machines-outils. Comme il a été déjà dit, il y a eu une tendance de la part des ingénieurs à considérer l'électricité comme applicable seulement dans les cas où la puissance doit être transmise à une grande distance. Il est nécessaire à présent d'envisager un cas tout différent, celui où la puissance doit être transmise dans un rayon n'excédant pas 300 ou 400 mètres, mais dans lequel l'électricité ait matière à s'employer pour la marche de différentes classes de machines.

Tout d'abord, prenons le cas du travail du fer et de l'acier, et considérons la nature des machines les plus fréquemment employées dans ce cas. On verra que ce sont pour la plus grande partie des machines à forer, à découper, à dresser, des scies à chaud et à froid, des perceuses, des planeuses, des machines soufflantes, des chariots, des grues, des laminoirs, des crics, des poinçonneuses, etc.

En relation avec ces travaux se trouvent souvent des ateliers de finissage et de montage, où les machines sont actionnées par arbres et courroies dérivés d'un ou de plusieurs moteurs placés dans l'atelier. En établissant cette classe de machines, il est presque invariablement d'usage, non seulement lorsque les machines-outils sont

Digitized by Google

actionnées par des moteurs séparés, mais encore lorsqu'elles sont mues par arbres et courroies, de compter sur de grandes pertes dans les moteurs, dues à la condensation ou aux défauts dans les conduites de vapeur, ou encore aux frottements de la transmission. C'est un fait bien connu que le travail actuellement dépensé dans les machines n'est qu'une petite partie du travail développé par la machine génératrice.

Dans les cas où ces machines-outils ont été actionnées par des moteurs indépendants, il a été d'usage de doter les moteurs de cylindres suffisamment grands pour parer aux pertes pouvant provenir de fuites, de la condensation, etc. Généralement on a pourvu d'indicateurs les principales machines motrices, mais, durant les visites de l'auteur à une trentaine ou une quarantaine des principaux ateliers de construction du pays, il n'a jamais pu obtenir les diagrammes d'indicateurs décelant la puissance absorbée par chaque moteur à vapeur dans les ateliers. Bien qu'on ait eu égard à la question d'économie dans les grands moteurs, cette question dans les petits moteurs et dans l'adduction de la vapeur a été souvent tout-à-fait négligée, occasionnant ainsi, dans ces dernières années, de grandes dépenses.

Avec l'apparition du moteur électrique, cet état de choses a été de suite complètement changé. Chaque moteur électrique est une machine indicatrice par elle-même, dans laquelle la puissance absorbée peut être mesurée immédiatement, par les lectures faites à l'ampèremètre et au voltmètre établis sur les machines.

Voici les résultats d'expériences faites récemment par l'auteur, en compagnie de M. H. Panton, sur la puissance absorbée par différentes machines en régime. Les chiffres sont très intéressants, car ils montrent la faible puissance absorbée par les machines-outils en régime.

Digitized by Google

Description des machines groupées comme suit	Mues par un moteur capable d'indiquer en chevaux	Remplacées par un moteur capable d'indiquer en chevaux	Voltage au générateur	Voltage au moteur	Courant du moteur	Chevaux effectifs absorbés en régime
Trois scies à froid Deux finisseuses Une machine à affûter	27	10,5	120	115	70	10,7
Une dresseuse Une double perceuse, perçant sur deux faces	14	3,5	120	118	12	1,9
Une machine à dresser pour toutes sections	14	5	120	115	25	3,7
Une machine à dresser pour les plus fortes sections	16	3,5	120	115	35	5,4
Une scie à froid, 26 pouces diamètre	9	3,5	120	110	15,27	2,2 à 3,9

L'économie de charbon dans ces machines a atteint 30 tonnes par semaine après l'adoption de l'électricité.

L'auteur désire maintenant appeler tout particulièrement l'attention des ingénieurs sur la construction et la distribution de puissance dans les travaux par l'électricité, et pour démontrer complètement sa thèse à ce sujet, il a fait tracer deux épures, l'une montrant les différents cas de transmission que l'on rencontre dans les anciens établissements, l'autre montrant la manière de reconstituer ces établissements, et les économies qu'on pourrait réaliser par une application judicieuse de la puissance électrique. Bien entendu les travaux dont il est question sont purement imaginaires, mais on verra que presque tous les travaux présenteront des exemples de transmission représentés sur ces épures. Elles contiennent des exemples de transmission dans le travail du fer et de l'acier, dans des ateliers de construction, des chantiers maritimes, etc. Dans les anciens établissements, on trouve les cas suivants: 1° Un grand nombre de moteurs à vapeur dispersés; 2° de nombreuses lignes de transmission par arbres et

Digitized by Google

courroies dans les différents ateliers ; 3° des longueurs considérables de conduites de vapeur ; 4° des groupes de chaudières indépendants ; 5° emploi de la vapeur à basse pression ; 6° des machines de modèles anciens ou peu économiques, spécialement dans les petites dimensions ; 7° un travail d'un caractère intermittent.

En se reportant à ces cas, il est bien évident pour tous les ingénieurs qu'on réaliserait une grande économie si ces machines à vapeur éparses pouvaient être concentrées en une seule de haute puissance. La quantité de charbon par unité de travail utile serait nécessairement beaucoup moindre, et en remplaçant ces machines par des moteurs électriques, on pourrait se dispenser d'un grand nombre d'ouvriers.

Prenant le second cas de transmission par arbres et courroies, l'auteur pense que peu d'ingénieurs se représentent ce que l'on perd actuellement dans les longues lignes d'arbres de couches, d'arbres de transmission, dans les poulies et courroies, etc. La puissance perdue a souvent été estimée de 30 à 69 % de la puissance transmise.

Dans le cas de longues conduites d'adduction de vapeur, il est difficile d'empêcher complètement la condensation, et l'on est toujours sujet à des fuites dans les soupapes et dans les joints.

Avec des chaudières séparées, il faut évidemment autant de chauffeurs spéciaux.

Avec la vapeur à basse pression, il est impossible d'employer les types économiques de machines dont on se sert à haute pression.

Dans beaucoup de grands ateliers, on trouve que les machines auxiliaires sont d'un type peu économique.

Le travail à effectuer est souvent d'une nature intermittente, et on laisse en marche des machines qui devraient être arrêtées.

Digitized by Google

L'auteur va maintenant essayer de montrer une manière de reconstituer entièrement ces anciens établissements, en réalisant d'énormes économies dans la consommation de charbon, les salaires et l'entretien.

La première chose à faire est d'étudier l'ensemble des installations et d'avoir autant que possible des machines portant des indicateurs. Lorsque ceci ne peut être fait, il est bon d'établir une petite installation provisoire comprenant une machine et une dynamo, en relation avec un moteur pouvant être transporté d'une machine à l'autre, afin de déterminer exactement le travail absorbé.

De cette manière on pourrait se faire une idée de la puissance totale requise par les différentes machines de l'installation.

Etant arrivé au chiffre total de la puissance absorbée par toutes les machines dispersées, on peut diviser ce chiffre, par exemple, en deux unités de puissance. Si la puissance totale atteint 1000 chevaux, il serait bon d'avoir deux unités de 500 chevaux chacune.

La raison pour laquelle on choisit une unité aussi grande est que dans les installations de puissance électrique, la la courbe de la charge est d'une nature toute différente de celle d'une station d'éclairage, laquelle donne une montée ou une chute plus ou moins contraire aux différentes heures de la journée, tandis que la courbe de la charge dans une installation centrale de puissance est d'une nature extrêmement variable, et sujette à de grandes fluctuations, surtout par moment, du quart à la pleine charge, de la demi à la pleine charge, et ainsi de suite. Il est nécessaire par suite, tant pour la simplicité du travail que pour l'économie, d'avoir une dynamo à vapeur capable d'engendrer le courant nécessaire pour la moitié au moins de l'installation. Il serait nécessaire dans le cas de cinq petites machines, de les laisser toutes en train, même si la charge descendait au quart de la charge totale, en cas qu'elle vint à croître soudainement à un moment quelconque.

Digitized by Google

Cet usage a été adopté dans presque toutes les grandes installations de puissance du continent, et l'auteur ne peut s'empêcher de trouver que c'est le bon.

Dans le cas où les gaz des hauts-fourneaux sont utilisables, l'emplacement évident pour la station génératrice serait dans le voisinage de ces hauts-fourneaux, afin que les chaudières puissent être chauffées par ces gaz, le coût de la production du courant électrique étant ainsi réduit à son minimum. S'il n'y a pas de gaz disponible aux hauts-fourneaux, on placera la station génératrice à proximité du groupe le plus important de chaudières, et, si ces chaudières travaillent à une pression inférieure à 40 kilogs, il sera économique d'en établir de nouvelles de 55 à 60 kilogs de pression.

Ayant choisi l'emplacement, la question qui se pose est celle de la nature de cette station génératrice. Dans le cas d'une unité atteignant 500 chevaux, on peut choisir entre trois alternatives : 1° une machine Corlis, compound à condensation, marchant à 80 tours par minute, avec une dynamo multipolaire, construite d'après un type continental, l'induit servant de volant à la machine.

On peut avoir grande confiance dans un établissement de ce genre, mais la dépense initiale est relativement élevée, vu les grandes dimensions de la dynamo, et la lenteur de son allure.

2° Si l'allure était doublée, et si l'on prenait une machine de 160 tours à la minute, il serait possible d'employer une machine marine à triple expansion et à condensation. On réaliserait une grande économie dans le prix de la dynamo, et une installation de ce genre marcherait dans de bonnes conditions économiques. Cependant il serait nécessaire de pourvoir cette machine marine d'une admission réglable automatiquement au moyen du régulateur, avec les variations de la charge et la nécessité d'avoir une constance absolue dans la vitesse.

Digitized by Google

3° La troisième solution consiste à augmenter encore l'allure de la dynamo, et d'employer une machine à vapeur du type à grande vitesse, semblable à ceux qu'on emploie dans les stations anglaises d'éclairage électrique.

Ces machines marcheraient à 300 tours environ, doublant par conséquent l'allure précédente, et réduisant encore la dépense.

Ces machines à grande vitesse seraient du type à triple expansion, et pourvues de condensation. Leur consommation ne dépasserait pas 7 $^1/_2$ kilogs de vapeur par cheval-heure indiqué. Dans tous les cas, l'installation sera du type dynamo à vapeur, c'est-à-dire, une machine à vapeur et une dynamo reposant sur les mêmes fondations, et directement accouplées.

Ayant pris une décision quant à la station génératrice, il est nécessaire d'envisager ensuite l'application des moteurs électriques eux-mêmes aux différentes machines, et en général, le mode de distribution de la puissance. D'après la nature des travaux, les conducteurs principaux passeraient soit en l'air, soit dans des conduites souterraines couvertes, et afin de réduire la dépense, seraient, autant que possible, en cuivre nu, non isolé. Comme nous nous occupons en ce moment d'établissements ne dépassant pas un rayon de 300 ou 400 mètres, on emploierait un voltage peu élevé.

De cette façon, non seulement toute la puissance motrice peut être prise à la station centrale, mais encore tout l'éclairage, à arc et à incandescence, des travaux eux-mêmes. L'auteur pense que la tension dans ce cas serait de 120 volts.

Si les distances sont trop grandes pour la permettre, à cause de la dépense de cuivre, on pourrait augmenter la tension jusqu'à 500 volts. Dans les travaux du fer et de l'acier la basse tension est préférable pour bien des raisons, car il est bien plus facile de maintenir un bon isolement dans un système à basse tension que lorsqu'on emploie les voltages élevés.

Digitized by Google

Dans tous les cas où l'on a à commander de nouvelles machines pour des agrandissements ou d'autres causes, il sera préférable d'englober le moteur électrique dans la construction de la machine-outil. Dans le cas d'anciennes installations, ceci est à peine faisable, et alors le mieux est d'employer une courroie directe sur le volant de la machine en question. Le moteur lui-même, pour des machines appelées à démarrer sous fortes charges, serait du type shunt, les électro-aimants en dérivation étant constamment branchés sur la ligne.

Chaque moteur devra être pourvu de rhéostats de démarrage et d'arrêt, grâce auxquels le courant ne sera lancé que progressivement dans la machine, de façon à assurer un démarrage lent et régulier, et à éviter dans les inducteurs les effets d'extra-courant provenant d'une rupture brusque du circuit. Chaque moteur sera protégé par un recouvrement approprié contre l'humidité et la poussière, et sera, si possible dans un local fermé à clef, un seul employé ayant l'accès autorisé aux moteurs.

L'auteur a reconnu l'emploi de balais en charbon à peu près indispensable pour les moteurs, spécialement pour ceux qui doivent marcher dans les deux sens. Il faut enfin établir avec le plus grand soin le graissage de chaque moteur.

En supposant que toutes les machines établies soient actionnées par des moteurs électriques, que des moteurs aient été substitués aux machines et aux chaudières pour la marche des chariots et des grues, que la transmission de puissance dans les ateliers de montage et autres, où l'on emploie des transmissions mécaniques, ait été remplacée par des moteurs séparés actionnant les arbres secondaires, voici les résultats pratiques qu'on obtiendra par la reconstitution des installations anciennes d'après les grandes lignes indiquées par l'épure n° 2.

Consommation de charbon. — Le rendement total de la nouvelle installation, en supposant que les distances

Digitized by Google

n'excèdent pas 500 mètres, attiendra 75 %. La perte de 25 % sera décomposée comme suit :

Perte dans la dynamo génératrice	7
Perte dans les conducteurs	3
Perte dans les moteurs	15

Dans bien des ateliers où les machines sont très divisées on trouvera que l'économie de charbon par cheval-effectif sera de 4 à 7 kilogs, ou même davantage.

Bien qu'une grande réduction dans la consommation de charbon soit réalisée par l'usage de machines perfectionnées et les moyens employés pour la transmission de puissance, il y a un autre moyen de diminuer encore la dépense, c'est de mettre instantanément hors-circuit les moteurs qui ne travaillent pas.

Sans aucun doute, dans les anciens établissements on laisse en marche des moteurs non employés ; et même au repos, ils peuvent occasionner des pertes considérables de vapeur par des fuites dans les moteurs eux-mêmes ou dans les tuyaux d'adduction.

Contrairement à cela, dès qu'un moteur électrique est mis hors-circuit, le courant cesse d'être engendré, et la faible perte due aux câbles électriques comparativement aux tuyaux d'adduction de vapeur, est chose évidente pour tout ingénieur. Dans le cas d'installations entièrement reconstituées, la consommation de charbon à la fin de l'année se trouvera être sans doute la moitié ou même moins, de ce qu'elle était avant l'adoption de l'électricité.

Il est recommandable dans tous les cas de combiner l'éclairage des travaux avec la distribution de puissance, le courant étant engendré par la même dynamo génératrice.

Eu égard à la dépense totale de charbon, il est bon de rappeler qu'une très grande proportion est prise par l'éclairage.

Auparavant les ateliers auraient été éclairés au gaz, à l'huile ou au pétrole.

Digitized by Google

Dans le cas des nouvelles installations, l'éclairage des grands espaces serait fait au moyen de lampes à arc, l'éclairage des ateliers par des lampes à globe, et dans les bureaux et les endroits où les lampes à arc ne conviennent pas, on emploierait les lampes à incandescence. Le prix du charbon consommé pour l'éclairage électrique de l'ensemble des installations, fournirait une comparaison très avantageuse avec les procédés d'éclairage au gaz et à l'huile précédemment en usage.

Salaires. — Nous avons à envisager ensuite la question des salaires. Il est évident que par la suppression complète des chaudières dipersées, on peut se passer d'un nombre considérable de chauffeurs. C'est également le cas pour les moteurs à vapeur dont la marche exige la présence d'un mécanicien.

Il est probable aussi qu'on aurait employé un plus grand nombre d'ouvriers pour la surveillance des lampes à gaz et à huile que pour celle des lampes électriques.

Les moteurs, dans la pratique, peuvent être tenus sous clef. S'il leur arrive un accident, ce fait sera immédiatement décelé dans la halle des machines génératrices et un employé peut se rendre sur les lieux.

Par suite les moteurs n'impliquent pas la nécessité d'une surveillance spéciale, et un homme pour vérifier que le graissage a lieu dans de bonnes conditions, et que les balais sont bien placés, est amplement suffisant. Pour des puissances jusqu'à 500 chevaux, un chauffeur, un mécanicien et un électricien constituent tout le personnel nécessaire à la station génératrice.

On verra donc facilement en comparant l'épure n° 1 à l'épure n° 2, que les salaires d'un grand nombre d'hommes seraient économisés grâce à l'emploi de l'électricité.

Entretien. — Nous avons maintenant un autre point à considérer, c'est la question d'entretien d'une semblable installation électrique. L'entretien des installations de

Digitized by Google

puissance électrique ayant déjà marché pendant 3 ans, et comprenant l'emploi d'un grand nombre de moteurs, lampes à arc, etc., ont montré qu'il peut-être en toute sécurité fixé à moins de 5 % du capital engagé dans l'installation.

On ne peut cependant fixer des règles absolues pour la dépense d'entretien, car elle doit forcément varier avec les différentes espèces de travaux auquels l'électricité est appliquée. Mais il est clair que l'entretien de conducteurs en cuivre nu doit être bien moindre que celui d'un système étendu de tuyaux, d'arbres de couche, de cordes et courroies, qui ont été employés jusqu'ici dans les transmissions de la source génératrice à l'endroit où la puissance est employée. La dépréciation sur les conducteurs en cuivre est comparativement très faible. Quant à l'entretien des moteurs électriques, presque tout dépend de la propreté qu'on y maintient; or, avec des soins attentifs, les seules parties qui doivent être renouvelées, sont les paliers, les balais et les collecteurs qui peuvent tous être remplacés à peu de frais.

La comparaison avec les moteurs à vapeur et leurs accessoires est très favorable. La dépense d'entretien d'une installation d'électricité bien conduite serait donc très peu élevée; et bien des faits viennent corroborer cette assertion, et prouver qu'il en est bien ainsi actuellement.

Contrôle. — L'auteur croit que l'un des résultats subséquents les plus importants dans une installation de puissance électrique, est la vérification et le contrôle absolu que l'on a sur la consommation de charbon et la dépense courante dans les travaux. Il est bon lorsque c'est possible de brancher les circuits des moteurs ou des groupes de moteurs, directement sur le tableau de la station génératrice et de placer sur chacun de ces circuits un ampèremètre qui indiquera la puissance exacte prise par chacune des machines à chaque heure de la journée. Avec un peu d'habitude, le préposé à la halle des machines

Digitized by Google

peut dire d'après les diverses indications des instruments de mesure, ce que les différentes machines des ateliers sont en train de faire, si elles sont au repos, si elles sont ou non en pleine charge. Avec un ampèremètre enregistreur placé dans le circuit général, la puissance transmise sera totalisée sur une carte, et, en notant la consommation de charbon chaque jour, le coût de la production de l'unité d'énergie électrique peut être déterminé. En égard à la nature auto-indicatrice des moteurs électriques, on peut, de cette façon ou par d'autres moyens avoir un contrôle parfait sur la dépense courante de l'installation, et la plus légère perte due à un défaut ou à une résistance insolite en quelque point du circuit des appareils peut être immédiatement accusée et corrigée.

Laminoirs. — Il est tout à fait possible que l'électricité trouve un nouveau champ d'application dans les laminoirs du type le plus léger. Le résultat, quant à l'économie dans la consommation de vapeur, serait très avantageux par rapport aux méthodes précédemment employées. L'économie serait réalisée de la manière suivante : au lieu de la forme actuelle des machines employées pour actionner les cylindres, qui est forcément peu économique eu égard au travail à accomplir, et dans laquelle l'échappement est très imparfait, on pourrait établir une machine à triple expansion sur les principes le plus économiques, travaillant à haute pression et ne prenant pas plus que $^3/_4$ de kilogr. de charbon par cheval-heure indiqué.

Cette machine serait accouplée directement à une dynamo de puissance convenable et la dynamo génératrice à vapeur serait maintenue en marche constamment.

Sur chaque série de cylindres serait établi directement un moteur électrique. Les appareils de commande seraient manœuvrés par des leviers à la main ou au pied d'une manière à peu près identique à celle dont la vapeur est introduite et coupée dans les laminoirs existants.

Digitized by Google

Le moteur électrique peut être considéré comme pourvu par lui-même d'un mode d'accouplement élastique, et si la puissance fournie est suffisante on trouvera que le couple nécessaire sera atteint. Les à coups seraient pourtant bien plus diminués encore, par des méthodes mécaniques de couplage, et l'auteur ne prévoit pas de difficulté à obtenir un moteur qui résisterait à telles charges qui lui seraient appliquées. Cependant les appareils de commande devraient être conçus et construits, avec un soin tout particulier, afin d'éviter les courants instantanés qui traverseraient les appareils; mais là encore il n'y a pas de difficulté qu'on ne puisse surmonter.

Quoi qu'il en soit, les principaux avantages du système électrique seraient les suivants :

1. La question des points morts serait pratiquement éliminée, un moteur électrique, à l'inverse d'un moteur à vapeur, n'ayant pas de point mort. La machine principale entraînant la génératrice étant continuellement en marche, la difficulté des points morts serait également surmontée de ce côté, le résultat étant que les dimensions des machines employées seraient considérablement diminuées, puisque, dans le cas actuel il est nécessaire que chacun des cylindres de la machine à vapeur soit capable de faire démarrer les cylindres des laminoirs à pleine charge, lorsque l'autre cylindre trouve au point mort.

2. Eu égard à ce nouveau mode d'entraînement, on pourrait employer un type de machines tout différent du type actuellement usité, et au lieu de consommer 3 $^1/_2$ à 4 kilogr. de charbon par cheval-heure indiqué, à cause de l'échappement défectueux, la consommation tomberait à $^3/_4$ kilogr. par cheval-heure indiqué.

3. Un nombre considérable de petits laminoirs pourraient être actionnés dans des parties tout à fait différentes des ateliers par la seule dynamo génératrice à vapeur, et on économiserait les salaires et l'entretien de moteurs à vapeur plus petits dispersés de tous côtés.

Digitized by Google

4. La totalité des machines auxiliaires nécessaires pour tout le matériel roulant, chariots, grues etc., pourrait être remplacée par des moteurs électriques branchés toujours sur la génératrice unique.

5. Grande économie dans la consommation de vapeur, grâce à la concentration, en un point, de la puissance produite dans d'excellentes conditions de rendement.

En parlant de ces applications l'auteur n'a pas en vue, bien entendu, les types plus forts de laminoirs, qui absorbent plusieurs milliers de chevaux, mais il croit fermement qu'en ce qui concerne les types plus légers, il y a un avenir pour l'application de l'électricité, les grands avantages à en tirer étant la forte économie sur la consommation de charbon et les salaires.

Il y a un autre point à considérer en établissant une installation de puissance électrique, c'est la petite dimension des moteurs eux-mêmes, qui, vu leur mode d'actionnement rotatif, et non alternatif, n'exigent que des fondations légères et peu coûteuses.

Même observation pour les fondations nécessaires à la station génératrice.

Ateliers de constructions et chantiers maritimes. — Les arguments déjà invoqués interviennent dans l'application de l'électricité aux ateliers de construction et chantiers maritimes.

Dans les ateliers où le travail est d'une nature très intermittente, il y aurait économie à actionner les grandes machines-outils par des moteurs séparés, et sans aucun doute il arrivera dans un avenir prochain que les constructeurs de machines-outils prêteront leur attention aux dispositions propres à englober le moteur électrique dans la construction des machines. Pour des machines moins importantes, il y aura économie à abandonner les arbres communs, à appliquer des moteurs aux intersections avec les arbres secondaires, et en général à subdiviser de toutes

Digitized by Google

façons la puissance, et actionner les machines autant que possible indépendamment les unes des autres.

Le tableau suivant, calculé par M. Félix Mélotte (1) donne une comparaison très intéressante entre les rendements obtenus en variant la charge, pour une distribution mécanique et une distribution électrique.

TRANSMISSION ELECTRIQUE.

Charge de la machine . . .	**1000**	**750**	**500**	**333**	**250**	**200**
Perte constante par frottements.	50	50	50	50	50	50
Perte électrique variable . . .	50	27	11	4,5	2,2	1,2
Perte totale de la dynamo . . .	100	77	61	54,5	52,2	51,2
Puissance disponible . . .	**900**	**673**	**439**	**278,5**	**197,8**	**148,8**
Rendement pour cent . . .	**90**	**89,7**	**87,8**	**83,5**	**79,1**	**74,4**
Pertes dans les conducteurs . .	18	10	4	1,7	0,8	0,5
Puissance disponible aux moteurs	**882**	**663**	**435**	**276,8**	**197**	**148,3**
Perte constante par frottements.	53	53	53	53	53	53
Perte variable	35	20	8,5	3,4	1,7	1
Perte totale dans les moteurs. .	88	73	61,5	56,4	54,7	54
Puissance disponible . . .	**794**	**590**	**373,5**	**770,4**	**142,3**	**94,5**
Rendement total, pour cent	**79,4**	**78,7**	**74,7**	**66,2**	**57**	**47,2**

TRANSMISSION MÉCANIQUE.

Charge de la machine . . .	1000	**750**	500	333	**250**	**200**
Perte par frottements	206	206	206	206	206	206
Puissance utile	794	544	294	127	44	0
Rendement total, pour cent	**79,4**	**72,5**	**58,8**	**38,1**	**17.6**	**0**

(1) *Revue Universelle des Mines*, tome XIX, 3e série, p. 28.

Digitized by Google

Par ce tableau on verra que les deux systèmes de transmission, qui à *priori* paraissent équivalents, deviennent très différents quand la charge diminue. Ainsi, lorsque $^1/_5$ seulement de la puissance est développée, le rendement de la transmission électrique accuse encore 47,2, alors que la transmission mécanique absorbe toute la puissance dans ses frottements constants de 206 chevaux.

Dans les chantiers maritimes, il y a peu de machines qui ne peuvent être mues par l'électricité. Les machines qu'on rencontre généralement, machines à percer, découper, plier, etc., les scies, et les machines à bois, peuvent toutes être facilement actionnées par les moteurs électriques. En raison de leur légèreté qui les rend transportables, il y a un large champ ouvert aux moteurs électriques à bord des navires durant leur construction.

La puissance électrique peut-être employée avec avantage pour percer les plaques de cuirassement, pour le travail temporaire des crics et des grues. L'auteur sait qu'elle a été également employée avec succès pour le rabotage des ponts de navires en bois.

Résultats obtenus. — Il y a peu de travaux en Angleterre, s'il y en a, qui soient uniquement actionnés par l'électricité. Les principales applications de puissance électrique utilisée comme force motrice se trouvent dans les ateliers des constructeurs d'appareils électriques,qui ont naturellement plus d'occasion d'apprécier les avantages de l'électricité comme puissance motrice.

Pour donner une idée des résultats actuellement obtenus dans la marche des travaux pour une période considérable, l'auteur va citer des chiffres provenant d'installations électriques belges, qui fonctionnent maintenant depuis trois ans environ ; ce sont des cas où la puissance motrice est la seule employée.

Ces renseignements seront sans doute intéressants pour les membres du « Iron and Steel Institute », qui doivent sous peu faire une tournée en Belgique.

Digitized by Google

L'une des premières installations et la plus importante peut-être, de celles qui aient été établies en ce pays, est celle de la Manufacture nationale d'armes de Herstal, près de Liége. Il serait impossible dans cette note, de donner un compte-rendu complet de l'installation. (1) La station génératrice était constituée à l'origine par une machine Corliss Compound de 500 chevaux accouplée directement à une dynamo multipolaire, dont l'armature constituait le volant de la machine. La puissance motrice de la manufacture était prise uniquement et entièrement à cette seule dynamo, qui en est en même temps l'unique source pour l'éclairage des travaux. Jusqu'à il y a neuf mois environ, il n'y avait point d'autre machine ou dynamo.

2000 bras environ sont employés là-bas, et leur travail a dépendu plus de deux ans de la marche de cette unique dynamo. Il n'y a pas eu d'arrêt depuis le premier jour du fonctionnement jusqu'à aujourd'hui. Il y a neuf mois environ, on introduisit une seconde source de puissance de 300 chevaux. Celle-ci toute fois n'était pas destinée à servir de réserve, mais de force supplémentaire pour des agrandissements qui avaient été faits à la manufacture.

La consommation de vapeur de la machine est de 7 kgs 65 par cheval heure indiqué. Le rendement total, compté d'après l'indicateur de la machine, a atteint 71,8 %.

Suivant l'exemple de la Manufacture nationale d'armes, le Gouvernement belge décida de supprimer toutes les machines à vapeur et chaudières de la Manufacture Royale de Liége, et de les remplacer par une distribution électrique.

Il a été reconnu que pour une certaine partie des travaux qui avant l'introduction de la puissance électrique prenait 3 tonnes de charbon par jour, la consommation était descendue aussitôt à 900 kilogrammes, ou moins d'une tonne, pour le même travail utile.

(1) Cette description a été faite dans la *Revue des Mines*, loc. cit.

Digitized by Google

Il y a un an et demi environ, une dynamo de 100 chevaux et six ou sept moteurs ont été installés à la Cristallerie du Val-St-Lambert (Belgique), le rendement total obtenu atteignant 75,5 %.

Aux établissements d'extraction de zinc de la Vieille-Montagne, on a installé dernièrement une importante distribution de puissance électrique, grâce à laquelle les anciens établissements seront entièrement reconstitués, toutes les anciennes machines et chaudières étant supprimées. La puissance actuelle consiste en une dynamo de 600 chevaux combinée à une machine Corliss compound tournant à la vitesse de 80 tours par minute, et construite pour une tension de 500 volts. Voici le nombre et la puissance des moteurs employés dans cette installation.

5	moteurs	de	1 cheval
1	»	»	2 chevaux
6	»	»	3 1/2 »
4	»	»	7 »
2	»	»	10 1/2 »
4	»	»	14 »
2	»	»	45 »
1	»	»	64 »

On est en train d'y ajouter :

1	moteur	de	80 chevaux
1	»	»	14 »
5	»	»	1 cheval
1	»	»	10 chevaux

On y établit une deuxième unité de 600 chevaux.

Les machines ont été spécialement construites par la Société Cockerill, et les dynamos par la Compagnie internationale d'électricité par les soins de M. Henri Pieper, son directeur. On emploie les chaudières de Babcock et Wilcocx, et la machine à vapeur prend de 6 1/2 à 7 kilogs de vapeur par cheval heure indiqué.

Digitized by Google

Le rendement de la machine est de 90 %, celui de la dynamo génératrice 90 % à pleine charge, et le rendement de conducteurs de distributions, également à pleine charge 98 % ; le rendement moyen des moteurs est de 86 %, et le rendement commercial de l'ensemble de l'installation est par suite 68,5 %, rapport du travail utile au travail indiqué de la machine à vapeur. Un transformateur à courants continus a pour but de réduire le voltage de 500 à 100 pour l'éclairage.

Plusieurs établissements en Allemagne et en Suisse emploient également l'électricité comme unique source de puissance.

Conclusion.

En tenant compte de tout ce qui a été établi plus haut, on verra que la puissance électrique est appelée à devenir dans un avenir prochain un facteur important dans les industries du fer et de l'acier et dans les ateliers de construction.

Appliquée aux mines pour les transmissions à longue distance, ou aux travaux pour la transmission à courte distance et la concentration de puissance, elle sera la source d'une grande économie sur les salaires, le combustible et l'entretien, par rapport aux méthodes employées jusqu'ici. D'anciens établissements peuvent être reconstitués avec avantage comme le prouvent les exemples de la Manufacture Royale d'armes, des établissements d'extraction de zinc de la Vieille-Montagne en Belgique, et celui des établissements de production de l'acier de Messieurs Long et C° à Middlesbrough ; que d'avantages ont à leur disposition ceux qui projettent de fonder des installations entièrement nouvelles.

L'auteur a eu la bonne fortune, il y a quelques mois, de rencontrer sur son chemin une compagnie qui se proposait de fonder une industrie entièrement nouvelle, et obtint en

Digitized by Google

dernière analyse qu'elle promît d'examiner avec soin la question de puissance électrique, avant de prendre une décision définitive quant à la source de puissance qui serait établie.

On passa quelques quatre mois à visiter des installations de puissance en Angleterre et à l'étranger, et le système électrique fut minutieusement comparé au système de la vapeur et du gaz ; on effectua des expériences qui eurent pour résultat que la « Bedson Wire Company » décida en fin de compte d'adopter l'électricité comme puissance motrice unique dans ses manufactures.

Ces travaux sous bien des rapports sont si complètement nouveaux, la question d'économie a été si minutieusement étudiée, que l'auteur croit que M. Bedson, dans peu de mois, sera en état de publier un mémoire sur le rendement des travaux et la consommation de vapeur, qui n'aura jamais été égalé en intérêt. Messieurs Bell frères, de Middlesbrough qui se sont également beaucoup intéressés aux questions de puissance électrique dans ces derniers temps, sont en train d'installer l'électricité à leurs travaux, à Clarence.

Il y a sans doute bien des collègues de l'auteur en électricité qui pourraient ajouter d'intéressants exemples d'applications de la puissance électrique en Angleterre.

L'auteur espère avoir démontré dans cette note que la puissance électrique a dépassé l'ère des expériences, et s'il a eu la bonne fortune de produire un sujet intéressant, et digne d'être discuté par le « Iron and Steel Institute », son but aura été amplement atteint.

SELBY-BIGGE (tr. par JAVAL).

Digitized by Google

Digitized by Google

SÉANCE DU 7 OCTOBRE 1894.

Présidence de M. Francken, président.

Ont signé la liste de présence MM. Bouva, Crombé, Dawson, De Bast, Derclaye, Dubois, Francken, Emile Gérard, Herdt, d'Hoop, Javal, Julius, Larmoyer, L'Hoest, Mélotte, Piérard, Ransy.

M. **le Président**, au nom du Comité, propose de faire coïncider avec la séance de novembre, au lieu de celle de fin octobre, l'excursion et le banquet annuels de l'Association. Il fait remarquer que les élections provinciales d'octobre pourraient être, pour beaucoup de membres belges, un empêchement sérieux à assister à la réunion d'octobre.

Il propose ensuite de faire l'excursion de l'année à Amsterdam. — Adopté.

Une Commission composée du Président, du Secrétaire général, de MM. Arendt, Gritters, Henrard, Javal, de Jonge, Julius, Mélotte, Nagtglas-Versteeg et van der Goot, est chargée d'organiser le banquet et l'excursion.

Les procès-verbaux publiés au bulletin, n'ayant donné lieu à aucune observation, sont approuvés.

La parole est donnée à M. **Dawson** qui communique à l'assemblée le travail suivant :

Note sur le circuit de retour d'un tramway électrique (1).

Messieurs et chers Camarades, permettez moi, avant d'aborder mon sujet, de vous exprimer tout le plaisir que j'éprouve à me retrouver avec vous dans cet Institut où, grâce à l'excellent enseignement de notre cher Professeur M. Gerard et aux installations que nous devons à la

(1) Reproduction interdite avant le 1er juillet 1895.

Digitized by Google

libéralité du fondateur de l'Institut, nous avons acquis les connaissances que nous mettons à profit dans les spécialités et les lieux les plus divers.

J'aurais voulu vous donner un exposé assez complet de la traction électrique telle qu'on la trouve à présent en Amérique, mais, même en y mettant toute la concision possible, il me faudrait, pour le faire, disposer d'un temps que je ne puis prendre. Force me sera donc de circonscrire mon sujet.

En 1888, la traction électrique était à peine connue en Amérique où les ingénieurs, aussi bien que les hommes de science, n'avaient pour elle que du dédain.

Moins de six ans après, au commencement de 1894, on y comptait 577 lignes et 8355 milles (13368 kilomètres) de voie, 19757 voitures engageant un capital de 45 000 000 livres (1 125 000 000 francs), c'est-à-dire les 0,71 du capital engagé dans les tramways américains. En ce moment le développement des tramways électriques représentait environ les trois quarts du développement de tous les tramways et cette proportion ne cesse de s'accroître chaque année.

Ces chiffres sont éloquents et prouvent surabondamment que la traction électrique est celle qui répond le mieux aux conditions du trafic urbain ou suburbain.

Poussé par le désir d'étudier d'une manière approfondie cette question de la traction électrique, j'ai passé six mois en Amérique, visitant de New-York à San-Francisco, à Vancouver, au Canada et particulièrement à Montréal, toutes les grandes installations et les usines spécialement établies pour cette industrie. Grâce aux lettres d'introduction dont j'étais pourvu, j'ai pu mettre à profit ce voyage pour recueillir une ample moisson de documents et de données de toutes sortes, que je publierai dans le journal l'*Engineering* de Londres.

Je me propose aujourd'hui d'appeler votre attention sur quelques côtés pratiques de la question.

Digitized by Google

Coût d'installation. — On peut admettre que le coût d'une installation en Amérique s'établit comme suit :

Voie, par kilomètre	frs.	24,000
Retour par les rails, par kilomètre. . .	»	1,500
Construction aérienne (poteaux en fer) par kilomètre	»	19,000
Voitures motrices, chacune	»	18,000
Générateurs, machines et chaudières, par cheval indiqué.	frs.	250 à 500
Bâtiments, par cheval indiqué . . .	»	80 à 200

En d'autres termes, pour une ligne de 20 voitures ou plus, le prix de l'installation complète, le tout compris, est d'environ 25,000 frs. par voiture motrice.

Une comparaison avec la traction par câble n'est peut être pas déplacée ici.

Câble. — Conduite du câble, par kilomètre	frs.	150,000 à 450,000
Station génératrice, voitures, conduites, le tout complet, par kilomètre.	»	280,000 à 800,000
Electricité. — Conducteur aérien et retour par la terre, par kilom.	»	7,500 à 30,000
Système électrique complet avec station génératrice. Conducteur et matériel, par kilomètre.	»	25,000 à 125,000

C'est une erreur cependant de comparer par ces seuls chiffres le système par câble et les systèmes électriques, car chacun d'eux peut répondre à des conditions différentes et s'appliquer où l'autre ne le pourrait pas.

Un système de conduites électriques souterraines n'existe pas encore, et l'ensemble des expériences a montré que pour qu'une conduite souterraine soit satisfaisante, il faut qu'elle soit construite d'après les méthodes usitées pour les câbles, et alors il devient plus avantageux d'employer le câble.

Digitized by Google

Conducteur aérien. — Au point de vue esthétique le conducteur aérien laisse un peu à désirer, mais ses avantages sont si nombreux, que l'opinion publique est entièrement en sa faveur, comme le montre le cas de Philadelphie, où l'on vient de transformer toutes les lignes en conducteur aérien.

Le retour par la terre cause parfois des difficultés avec les compagnies du téléphone, et il existe une ville aux Etats-Unis (Cincinatti) où l'on a adopté un double trolley. Mais cette solution augmente tellement le nombre des fils suspendus dans l'air que se système ne se propagera pas.

Il existe d'autres méthodes spéciales de suspension nécessitées par des conditions locales, telles que celles adoptées par M. Dickinson dans le «South Staffordshire» mais qui sont absolument inconnues aux Etats-Unis et qui n'auraient pas été adoptées en Angleterre si les conditions locales ne les avaient imposées.

On pose comme thèse d'une bonne et facile exploitation que le conducteur aérien suive aussi près que possible les courbes de la voie. Le conducteur employé est un fil wo (8.39 mm. diam.).

Chaque nœud ou angle dans un conducteur étant une cause d'usure inégale et de déraillement du trolley, on doit donc chercher à en réduire le nombre.

On ne peut pas se donner trop de peine pour rendre le chemin parcouru par le trolley aussi uni et facile que possible. Il faut aussi toujours avoir un excellent isolement de la ligne et employer le meilleur type d'isolateur.

Tous ceux qui ont pensé faire des économies en employant un pauvre matériel ont eu à le regretter. Je mentionnerai ici que la Maison R. W. Blackwell, dont j'ai l'honneur de faire partie, a fourni à l'Institut une collection fort complète et fort intéressante de matériel de suspension aérienne.

Digitized by Google

Retour par la terre. — Je passerai maintenant à la question si importante du circuit de retour. Au début des tramways électriques, on se figurait que la terre ne présentait aucune résistance sérieuse, et on jugeait inutile de réunir les rails électriquement ou bien, si on le faisait, c'était au moyen d'un simple fil de fer n° 4 (5 mm. diam. environ), tourné autour des boulons d'éclisses. Ces systèmes sommaires ayant donné des différences de 100 et même de 200 volts sur 2 ou 3 kilomètres de ligne (cas de Richmond), on les remplaça par un joint au fil de cuivre de même diamètre, soudé à des rivets dans la base du rail ; dans le cas de courants intenses, on ajoutait un ou deux fils de cuivre nu wo (8.39 mm. diam.) couchés dans le sol entre les rails et connectés à ceux-ci par des fils w4 de distance en distance; mais on s'aperçut bientôt, en faisant des réparations à la voie, que parfois en 3 à 6 semaines de temps le fil de cuivre avait été complètement oxydé (j'en ai vu plusieurs exemples dans mes voyages). D'autre part la Compagnie du téléphone à Boston, trouva que la couverture de plomb de ses câbles disparaissait; les Compagnies d'eau et du gaz s'aperçurent de leur côté, qu'aux joints des tuyaux, des corrosions et même des perforations se produisaient.

On se demanda naturellement, si les tramways électriques n'étaient pas la cause de ces détérioriations, et des expériences longues et intéressantes, faites notamment à Boston, et dans d'autres grandes villes telles que Brooklyn, Milwaukee établirent que le courant du tramway était la cause de ces rongements. Ce n'est pas, comme on pourrait le croire, de la différence de potentiel existant entre les tuyaux d'eaux ou de gaz d'une part et les rails d'autre part que dépend l'importance de la corrosion des tuyaux; en réalité c'est l'intensité du courant, laquelle dépend de la résistance des terres, qui la détermine. Ainsi à Madison, (Wisconsin) d'après le Professeur Jackson, devant la station génératrice on trouva entre les conduites d'eau et les rails

Digitized by Google

voisins, une différence de potentiel de 7 volts et en mesurant le courant qui passait à travers, on trouva que celui-ci n'était que de $^3/_{10\,000}$ d'ampère. D'après des essais faits, on a constaté que les matières qui rendent le sol le plus favorable à l'électrolyse des tuyaux sont d'abord les chlorures puis les nitrates et en dernier lieu les sulfates.

Une question qui se pose tout d'abord est celle-ci : quel pôle des génératrices faut-il connecter à la terre?

La pratique démontre que c'est le pôle négatif, car ainsi on diminue le danger de la corrosion des tuyaux et le localise. Ce n'est pas là où le courant entre dans un tuyau que le dégât se produit, mais bien, au point où il en sort. En ce point les tuyaux présentent un aspect grelé, le trou étant évasé vers l'extérieur comme le montre le croquis ci-dessous. Il est évident que si le pôle



Fig. 1.

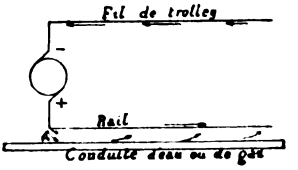


Fig. 2.

positif était connecté à la terre, le courant cheminant comme l'indique la figure 2, le danger de corrosion s'étendrait sur presque toute la conduite d'eau ; le pôle négatif étant à la terre, le courant se distribue par contre suivant les flèches de la figure 3.

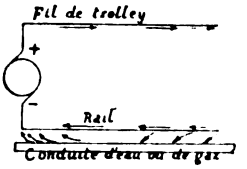


Fig. 3.

On voit que ce n'est que dans le voisinage de la station centrale que le danger se présente, et là on pourrait se

Digitized by Google

garder plus particulièrement en connectant les tuyaux, aux moyen de gros câbles en cuivre, au pôle négatif des générateurs. Mais il y a malheureusement un autre facteur dans la question, c'est la conductibilité des joints de tuyaux.

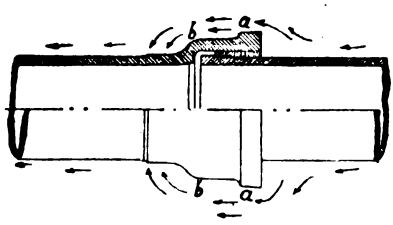


Fig. 4.

Ces joints offrent toujours une assez faible conductibilité de telle sorte que le courant arrivant à la section *aa* abandonne en partie le tuyau, passe par le sol voisin généralement humide et va rejoindre le tuyau en *bb*; dans le voisinage de *aa* le tuyau se corrode donc très rapidement. Si on pouvait employer des courants alternatifs pour les tramways électriques, ces difficultés disparaitraient mais de nouvelles surgiraient probablement, et les dérangements du service téléphonique seraient bien plus graves qu'avec les courants continus. On a cru qu'en renversant le sens du courant à des intervalles de quelques heures, on pourrait peut être remédier à ces inconvénients. Mais on a trouvé au contraire que ceci augmentait le mal, car au lieu de détruire les tuyaux (comme dans la figure plus haut) en une seule section *aa*, l'action du courant se ferait sentir également dans la section *bb*.

Il existe bien un moyen efficace, mais il n'est pas applicable partout et la possibilité de son emploi dépend des conditions du trafic; je veux parler du système à trois fils. Ce système je l'ai vu en service à Portland Orégon.

Le fil aérien et le retour par les rails sont établis comme de coutume, le conducteur aérien étant comme d'ordi-

Digitized by Google

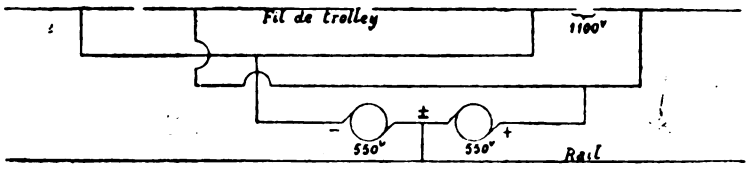


Fig. 5.

naire divisé en sections isolées, entre lesquelles il existe dans ce cas, une tension de 1,100 volts. Le trait caractéristique du système consiste dans la division des sections, de façon que le courant nécessaire pour la marche des voitures soit réparti aussi également que possible entre les différentes sections. On conçoit qu'ainsi le courant retournant par les rails soit réduit. Un autre avantage qui se trouve obtenu est de réaliser une économie sensible dans le cuivre des feeders, ou, pour une même dépense de cuivre, de pouvoir reporter la station centrale bien plus loin de la ligne qu'avec le système ordinaire. Mais pour l'appliquer, il faut pouvoir diviser la ligne en parties presqu'également chargées. C'est faute de pouvoir le faire qu'à Milwaukee, où on l'avait essayé, on a dû l'abandonner.

On emploie dans le système à trois fils, comme dans le système à deux fils, des dynamos compound donnant 500 volts à vide et 550 volts à pleine charge et aucune complication n'est introduite dans le tableau de distribution.

Ce système a été employé avec grand succès à Portland pendant les quatre dernières années.

Mais, comme on ne peut guère l'appliquer partout, revenons à ceux des autres systèmes qui sont maintenant admis comme les meilleurs et qui s'appliquent dans toutes les nouvelles installations en Amérique.

L'erreur généralement commise jusqu'à maintenant était de donner de trop petites sections au fil de cuivre connec-

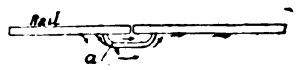


Fig. 6.



Fig. 7.

Digitized by Google

tant les rails. La conséquence était que le courant arrivant par le rail trouvait la résistance de la connexion plus grande que celle de la terre et une grande partie abandonnant la connexion, passait par la terre et rentrait dans l'autre rail plus loin, rongeant en quelques semaines, le fil en *a*, comme le montre la fig. 7.

Ce n'est pas au point ou le fil pénètre dans le rail mais à un ou deux centimètres de distance que le fil se ronge.

Le cuivre possèdant 6 fois la conductibilité du fer, Il faut agrandir la surface de contact du connecteur en cuivre avec le rail pour qu'elle atteigne autant que possible 6 fois la section du connecteur. Quand le courant de retour est trop intense pour pouvoir, sans trop de chute de potentiel, être ramené par les rails seuls, il faut de distance en distance connecter aux rails des feeders de retour, feeders qui seront isolés. En outre, il faudra donner une grande section aux connecteurs en cuivre des rails et à leurs contacts. De distance en distance, il conviendra de faire des connexions de travers entre les deux lignes de rails, (environ tous les 30 mètres). Il paraît moins utile de poser un conducteur en cuivre nu entre les rails, disposition presque entièrement abandonnée d'ailleurs en Amérique.

Si malgré les bonnes connexions des rails et des feeders, des tuyaux sont encore attaqués, il faudra prendre des conducteurs supplémentaires connectés, à la station génératrice, au pôle négatif de la dynamo et reliés à de petits intervalles à toutes les conduites d'eau et de gaz, ainsi qu'à la couverture de plomb des câbles téléphoniques s'il y a lieu. A Boston la Compagnie West End a un employé spécial qui accompagne les employés de la Compagnie des eaux et du gaz quand ils font des installations, pour souder aux tuyaux des fils de cuivre qui les connectent à de gros câbles en cuivre nu rentrant la station génératrice; ces câbles ne peuvent naturellement pas être connectés aux rails.

Digitized by Google

Mais ceci n'est que le remède ; mieux vaut éviter le mal. Partout où la corrosion des tuyaux s'est faite, on avait fait une fausse économie de cuivre en terre, et là où l'on a employé beaucoup de cuivre, on n'a pas eu ces inconvénients. Nous citerons comme exemple entre autres les tramways de Baltimore et Toronto.

Si une installation doit occasionner des ennuis par la corrosion des conduites, ils se produiront en général dans la première année; donc, passé ce délai, on peut en conclure que le retour par les rails est suffisant où tout au moins que le terrain présente une grande résistance.

Disons maintenant ce qu'on fait pour assurer un bon retour par les rails, ce qu'il faut faire à cette fin et comment on le fait.

Nous poserons d'abord ce principe, que j'ai entendu confirmer dernièrement par des autorités en la matière comme Sprague, Dr Louis Bell, Crosby, Knight et d'autres : Le courant ne doit pas retourner par la terre, mais exclusivement par les rails; il faut donc entraver le plus possible le retour par la terre et faciliter le retour par rails. Ceci s'effectue par ce qu'on appelle en Amérique « Bouding » les rails. On emploie pour cela, dans les installations récentes et le mieux établies, de 3 à 5 fils w°0000 ou $11{,}7^{m}/_{m}$ de diamètre connectant chaque paire de rails.

Le poids des rails employés varie de 50 livres à 100 livres le yard ou environ, en chiffres ronds, de 25 kg. à 50 kg. le mètre courant; ces rails ont une section d'environ 5 à 10 pouces carrés, ce qui correspond à une section de cuivre d'environ 0,833 à 1,667 pouces carrés ou de 537 à 1075 mm^2 tandis que la section de 5 fils w°0000 (maximum employé) n'équivaut qu'à 536 mm^2.

Les croquis suivants donnent les dispositifs les plus usités pour connecter les fils de cuivre aux rails.

Digitized by Google

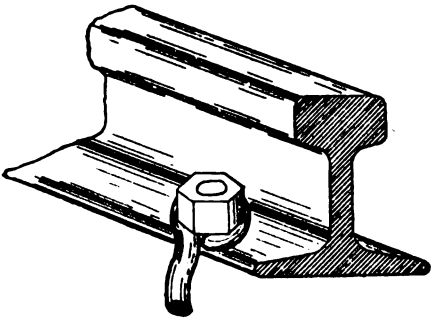


Fig. 8.

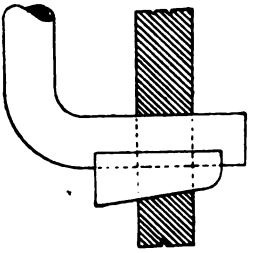


Fig. 9.

La fig. (8) représente l'ancien système, copié sur celui qui est adopté par les chemins de fer américains qui connectent leurs rails pour l'envoi de leurs signaux électriques ; ce système a été abandonné dans les tramways, et avec raison car il est absolument insuffisant. La fig. (9) représente un système introduit par la « Thomson-Houston », qui, sans être mauvais, est surpassé par d'autres; celui figuré en (10) y ressemble fort et ne présente pas sur lui d'avantages marqués.

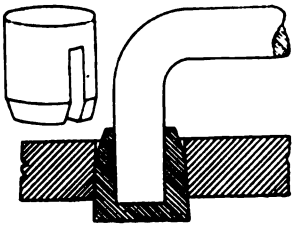


Fig. 10.

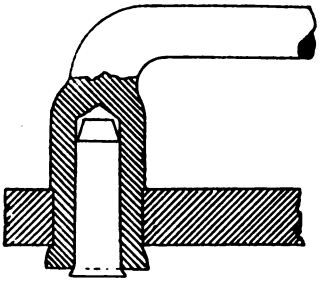


Fig. 11.

Le dispositif (11) est beaucoup meilleur, la surface de contact étant plus grande et le contact plus directement assuré entre le cuivre et le rail; la connexion (12) est bonne mais fort coûteuse car il faut fileter le trou percé dans

Digitized by Google

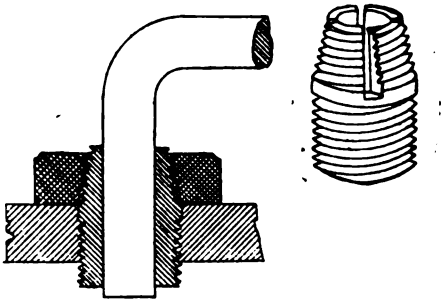


Fig. 12.

le rail. Disons ici que les trous pour fixer les fils de cuivre aux rails sont percés à l'usine fournissant les rails en même temps que les trous pour les boulons des éclisses.

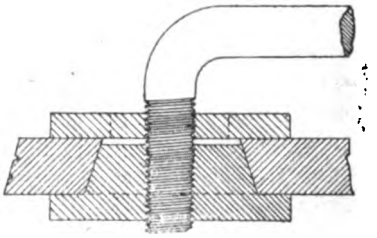


Fig. 13.

Le moyen (13) est très bon, mais est aussi coûteux, car avant de fixer le fil, il faut polir au moyen d'une machine spéciale les deux surfaces de contact avec le rail, et le fil de cuivre doit être fileté ainsi que les écrous.

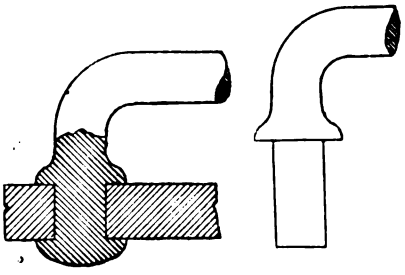


Fig. 14.

Digitized by Google

La disposition de la figure (14) est assez bonne, mais je crois que le contact du fil de cuivre avec le rail pourrait parfois ne pas être aussi bon qu'on le pourrait désirer.

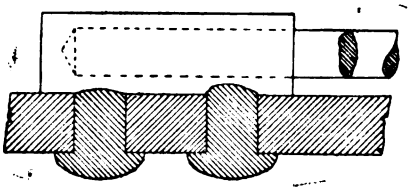


Fig. 15.

Le joint (15) qui offre beaucoup d'avantages est connu sous le nom de son inventeur M. Vail; sa surface est grande et la flexibilité de son câble est avantageuse, mais il est cher et il exige aussi qu'on polisse un des côtés du rail où il y a contact.

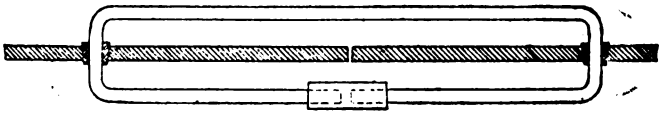


Fig. 16.

La connexion (16) de Messieurs Anderson est bonne, et présente à l'exclusion des autres, certains avantages importants ; elle est bon marché ; pour deux connecteurs il ne faut forer que deux trous au lieu de quatre ; enfin elle est très rapidement montée et un très bon contact est assuré entre le cuivre et le rail, les deux coins indiqués faisant parties du connecteur. Ce connecteur est d'abord passé à travers des deux trous dans les rails ensuite recourbé et ses deux bouts réunis au moyen d'un manchon en cuivre. Ce manchon est fendu, pour permettre de couler la soudure sur les deux bouts du fil de cuivre qu'il réunit.

Après qu'on y eût essayé toutes sortes de connecteurs, ce type a été adopté par la West End Road et s'est montré

Digitized by Google

très satisfaisant. On pourra avoir une idée du courant à ramener par les chiffres suivants.

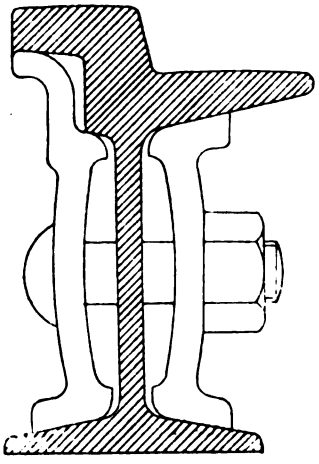
Dans les trois stations centrales de Boston, les débits moyens étaient pendant un jour de Janvier dernier :

Pendant	16 heures	1,203 ampères
»	18 heures	4,088 »
»	24 heures	12,706 »

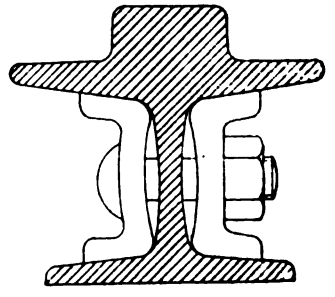
à la tension moyenne de 550 volts, ce qui correspond environ à 13,000 chevaux électriques en moyenne au tableau de distribution.

Le jour de l'essai, il y avait en moyenne 577 voitures en service et 71 chasse-neige. En moyenne aussi les voitures y ont parcouru 2,325,000 kilomètres par mois en 1893.

Nous reproduisons aux croquis ci-après la section des rails particulièrement employés en Amérique. Le « step rail » est le plus usité dans les villes, mais quoique excessivement favorable pour les tramways, il ne serait pas admissible dans les villes bien pavées d'Europe.



Step rail.
Fig. 17

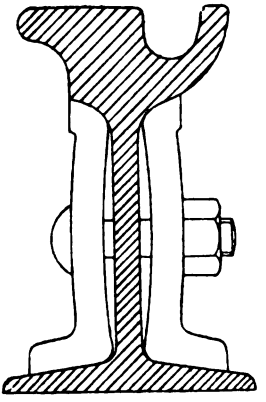


Double step rail.
Fig. 18

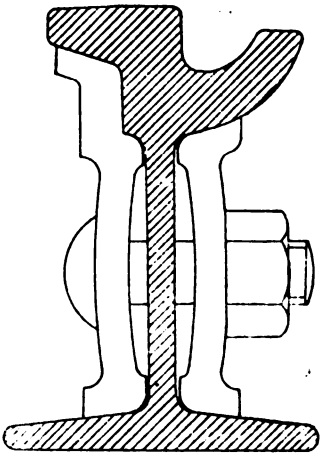
Digitized by Google

Le double « step rail » est encore plus favorable parcequ'il maintient la voie plus propre, mais est aussi inadmissible chez nous que le premier.

Le rail à rainure est très bon et pourrait peut-être s'importer avec avantage chez nous ; le plan incliné fait que les boues sont poussées hors la rainure par les roues au lieu d'y rester fixées, comme dans le rail à rainure ordinaire.



Rail à rainure.
Fig. 19



Rail à rainure inclinée.
Fig. 20

Le rail vignole avec la rainure ménagée par des pierres, des briques ou creusée dans l'asphalte est aussi très bon.

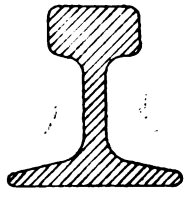
Dans les courbes, les Américains emploient des rails à rainure surélevée, inadmissibles chez nous.

Les joints sont presque toujours suspendus, et la construction est absolument la même que pour un chemin de fer, la seule différence étant que le ballast et les traverses sont couverts par le pavé.

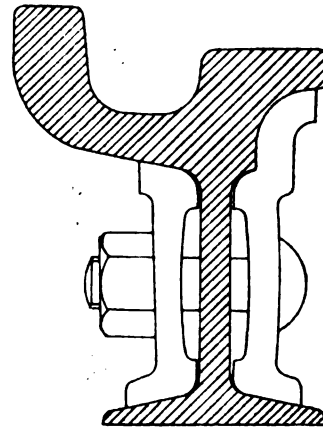
La pratique fait mettre maintenant les rails bout contre bout et sans jeu dans les rues pavées. On a trouvé que

Digitized by Google

la pression des pavés suffit pour empêcher les rails de bouger ; le seul effet de l'expansion c'est de faire grossir un peu les rails. Les joints faits ainsi résistent mieux et, point important, ce système empêche les joints bas qui nuisent à la conservation du matériel roulant et des moteurs.



Rail vignole.
Fig. 21.



Rail à rainure surélevée.
Fig. 22.

Si les rails ont été posés pendant l'été, quand le froid les fait contracter, on intercale dans le joint une mince section de rail en guise de cale.

Ceci m'amène à une question très importante et qui peut-être aura un grand avenir : je parle de la soudure électrique qui a déjà été employée sur une assez grande échelle. On l'a d'abord appliquée à Cambridge, un des faubourgs de Boston, sur une vieille ligne où, à cause de l'appareillage défectueux, les rails se sont brisés après un temps très court, non pas à la soudure même, mais à quelques centimètres de celle-ci. La Johnston Steel C°, de Johnston Pensylvanie, qui, dit-on, a un capital de plus de 3,000,000 francs engagé dans cette affaire, a perfectionné ses appareils et vient de souder 12 kilomètres de

Digitized by Google

voie à St-Louis. L'ingénieur en chef de la C° du « Cass avenue & fair Grounds tramways » m'a dit que cette voie existait depuis presqu'un an et donnait toute satisfaction.

A Brooklyn, la même Compagnie est en train de souder 100 kilomètres de voie. Il n'est pas nécessaire avec ce système de prévoir des joints d'extension, seulement en renouvelant les pavés, il faut avoir soin de ne pas découvrir une trop grande section à la fois, sinon les rails s'élèveraient et iraient peut-être se projeter dans le second étage des maisons.

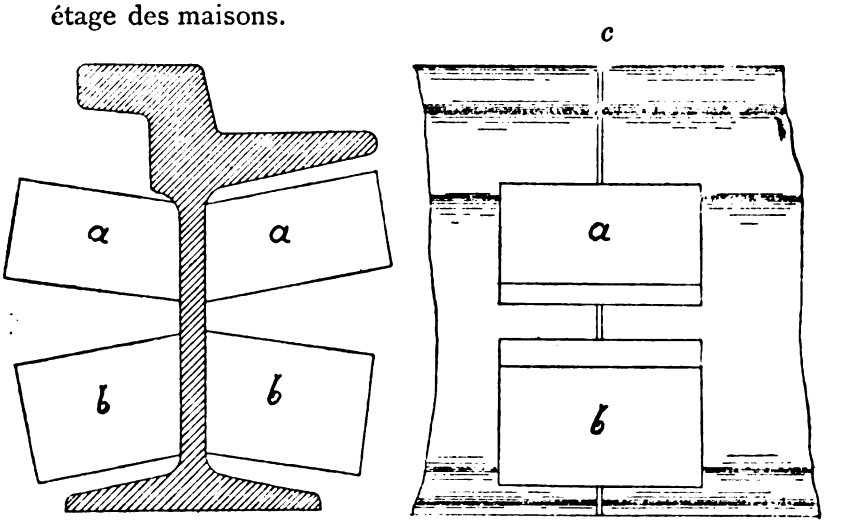


Fig. 23.

Pour faire une soudure, on polit d'abord avec une roue à l'émeri la surface du rail où le joint doit se faire; on met alors 2 locks en acier *aa*, on les tient en place au moyen d'une pince ayant une circulation d'eau froide à l'intérieur et on fait passer le courant. Au bout de quelques minutes, la soudure *aa* est faite; on fait *bb* de la même façon et pendant cette opération, un crayon en charbon se trouve au-dessus en *c* pour empêcher le joint de devenir mou. Aussitôt la soudure faite, un marteau

Digitized by Google

pilon frappe sur *c* pour y aplatir le bourrelet qui s'y forme pendant la soudure. Le temps nécessaire pour une soudure complète est d'environ 10 à 15 minutes. Le courant pour la soudure, pris du fil de trolley, est transformé en courants alternatifs dans un transformateur rotatif; de là il passe dans un transformateur qui abaisse la tension à 2 ou 3 volts. Le courant moyen prélevé sur sur la ligne à 500 volts est d'environ 250 ampères. On m'a assuré qu'en moyenne on comptait que le prix de chaque joint, le tout compris, était d'environ 15 francs.

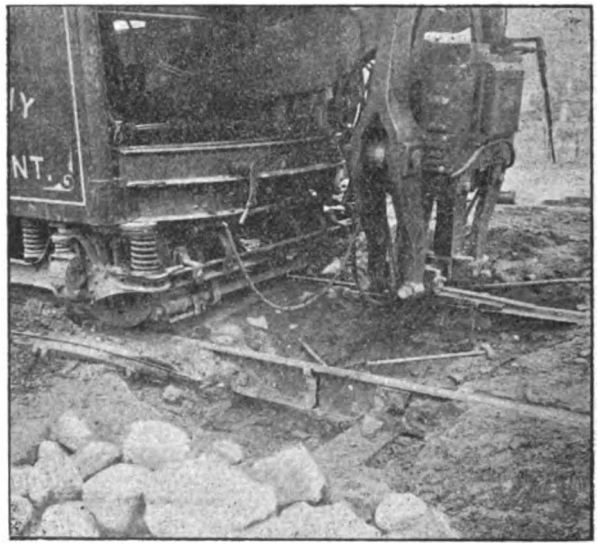


Fig. 24.

L'expérience de ce système n'est pas encore assez longue pour qu'on puisse donner un avis sur son succès; certes ses promesses sont belles, mais en attendant les résultats de Brooklyn et St-Louis, il est peut-être mieux de continuer l'emploi des connexions avec les fils de cuivre qui, en somme, ont été fort satisfaisantes; l'outillage pour la soudure électrique coûte d'ailleurs très cher.

Digitized by Google

En terminant cet exposé de quelques résultats de la pratique américaine en matière de tramways électriques, je dois vous remercier de l'attention que vous avez bien voulu me prêter. J'ai tenu à vous signaler les erreurs commises au début de la traction électrique en Amérique, parce que l'enseignement de l'expérience est surtout le plus utile en semblable matière. Faute d'y recourir, des ingénieurs et des constructeurs refont dans nos contrées une école coûteuse et décourageante qu'ils auraient pu s'éviter, en voyant de près ce qui s'est fait aux Etats-Unis.

M. **Francken**, *président*, remercie M. Dawson de la conférence très substantielle qu'il vient de faire, et exprime l'espoir qu'il continuera à nous faire participer aux résultats de ses observations et de ses études spéciales à la traction électrique.

Il ouvre ensuite la discussion sur cette communication.

M. **d'Hoop**. — Je pense, comme M. Dawson, que la corrosion des conduites métalliques par les courants de retour dépend de l'intensité du courant et non de la différence de potentiel de ces conduites avec le rail. Mais la difficulté est précisément la mesure de cette intensité, qui implique celle de la résistance du sous-sol, et je ne vois pas trop quel procédé a pu employer M. Jackson pour cette mesure.

M. **Dawson**. — J'ai donné le résultat trouvé par M. Jackson, mais je n'ai pas connaissance de la méthode qu'il a employée à cette fin.

M. **Piérard**. — Le dispositif des lignes à trois fils a-t-il amélioré les transmissions téléphoniques ?

M. **Dawson**. — J'avoue que je ne me suis pas occupé de la question, parce qu'en Amérique, on exige maintenant que toutes les lignes téléphoniques soient placées dans le sol. Je n'ai pas connaissance d'ailleurs que les compagnies de téléphones aient élevé des plaintes au sujet du dispositif à trois fils.

Digitized by Google

M. **L'Hoest.** — M. Dawson pense que le système Dickinson, employé dans le South Staffordshire, n'a sa raison d'être que dans les conditions toutes spéciales où il est établi. J'ai eu l'occasion de voir la réalisation de ce système et d'en faire une rapide expérimentation. A des vitesses excessives pour un tramway et sur des routes sinueuses, le trolley s'est toujours maintenu sous le fil sans aucun cas de déraillement; je ne vois pas pourquoi l'emploi en serait limité à la banlieue de Birmingham, alors qu'il présente une amélioration très sensible, au point de vue de l'esthétique sur les autres systèmes overhead. Au surplus, je crois savoir qu'il est sérieusement question de l'établir à Bristol.

M. **Dawson.** — Le système Dickinson convient pour les tramways à marche lente, établis dans les villes suivant un tracé tourmenté.

M. **L'Hoest.** — Notre camarade pourrait-il nous renseigner sur les vitesses qu'en service courant les tramways à trolley atteignent en Amérique ?

M. **Dawson.** — Une des lignes où l'allure des tramways électriques est des plus rapides, est celle établie entre Oakland San Leandro et Haywards; la vitesse moyenne y est de 25 milles à l'heure et atteint, en certains points, le maximum de 40 milles. Je crois que pour les grandes vitesses le rail central isolé est la meilleure solution.

La parole est ensuite donnée à M. **Piérard** qui expose le contenu de la note suivante :

De la nature des perturbations téléphoniques produites dans les lignes aériennes au voisinage de conducteurs parcourus par des courants variables.

Notre collègue M. Dawson vient de vous entretenir des phénomènes d'électrolyse qui accompagnent le passage des courants dans les circuits avec retour par les rails.

Digitized by Google

A côté de ceux-ci, il en est d'autres et non des plus simples ni des moins importants, relatifs aux perturbations apportées dans les communications téléphoniques.

Dès qu'une ligne téléphonique est voisine d'un circuit de traction électrique à retour par les rails, des bruits naissent dans le téléphone. Ces bruits consistent en un bourdonnement complexe très variable, dans lequel on reconnaît tous les incidents du service du tramway : arrêts, mises en marche, ralentissements. La dynamo de l'usine se caractérise dans l'ensemble par une note musicale distincte, de hauteur variable avec la vitesse des voitures. S'il y a plusieurs dynamos génératrices tout un accord de notes musicales est perçu. Les renforcements ont lieu aux mises en marche des véhicules, c'est-à-dire aux moments où l'intensité du courant traversant le fil de trolley est maxima.

Une simple traversée, même à angle droit, suffit pour produire des bruits perturbateurs légers. Mais ceux-ci acquièrent une intensité gênante, dès que le voisinage, jusqu'à une dizaine de mètres de distance, se fait sur une longueur de cinq à six cents mètres.

A quelles causes faut-il attribuer ces perturbations ? Résultent-elles de la superposition de courants de dérivation et de courants induits soit électromagnétiques, soit électrostatiques, ou un seul de ces facteurs l'emporte-t-il dans certains cas sur les autres ?

C'est ce que j'ai cherché à élucider.

Mes expériences ont porté sur des lignes téléphoniques voisines, mais souvent assez distantes (l'intervalle allant de 50 à 300 mètres) de conducteurs parcourus par des courants forts et *n'ayant aucun point d'appui commun* avec ces derniers.

Je les ai renouvelées à diverses reprises dans des conditions variées. On peut les vérifier sans difficulté, car elles sont fort simples.

Digitized by Google

PREMIÈRE EXPÉRIENCE. — CD (fig. 1) est un conducteur

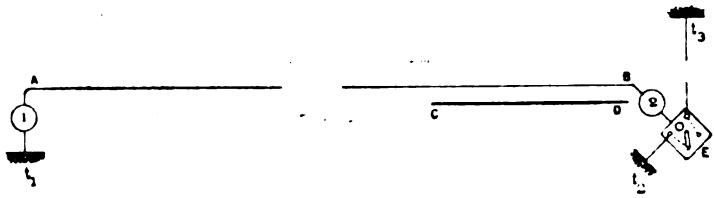


Fig. 1.

unique de 3 km. de longueur parcouru par des courants forts, par exemple le conducteur aérien d'un tramway marchant par trolley ;

AB une ligne téléphonique à simple fil, influencée par le conducteur CD et située à une distance moyenne de 80 à 100 mètres ;

1 et 2 des postes téléphoniques. Le premier prend terre à 5 km. de C, le second à une soixantaine de mètres du point D ;

E est un commutateur à deux directions permettant de donner au poste téléphonique 2, soit sa terre ordinaire t_2 soit une terre lointaine t_3, à plusieurs centaines de mètres de distance, prise au moyen d'un fil aérien perpendiculaire au circuit CD.

Lorsqu'on écoute aux deux postes et qu'on déplace le commutateur E vers la droite, permutant ainsi la terre ordinaire avec la terre éloignée, *on ne saisit aucune différence ni dans l'intensité, ni dans la nature des bruits perçus aux téléphones.*

DEUXIÈME EXPÉRIENCE. — La terre t_3 est supprimée et la borne correspondante du commutateur reste isolée. On écoute au poste 1 et quand le commutateur du poste 2 est déplacé, laissant le circuit isolé en E, *l'opérateur du poste 1 ne perçoit qu'une faible différence dans les bruits rendus par le téléphone : le timbre est un peu altéré et paraît plus aigu, mais l'intensité est renforcée.*

Digitized by Google

TROISIÈME EXPÉRIENCE. — La borne isolée du commu-

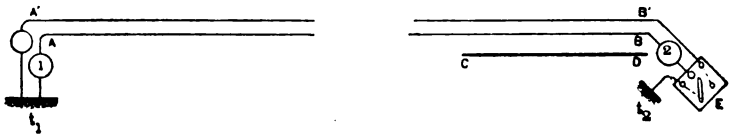


Fig. 2.

tateur E est raccordée (fig. 2) à un second fil téléphonique A'B' identique au premier et très rapproché de lui. Ce fil se termine à un annonciateur présentant approximativement la même résistance que le poste 1.

Quand on fait la commutation, substituant à la terre t_2 du poste 2, la terre t_1 du poste 1, on constate que: 1° *le poste 2 devient silencieux*; 2° *le poste* 1 *reste influencé comme auparavant, sauf la différence signalée lors de la seconde expérience.*

QUATRIÈME EXPÉRIENCE. — La situation restant la



Fig. 3,

même au poste 2, la terre est supprimée au poste 1 (fig. 3), de manière à obtenir un circuit entièrement métallique: *on ne constate pas de différence au poste 2, mais le téléphone* 1, *bruyant dans l'expérience précédente, devient complètement silencieux.*

CONCLUSIONS. — Les trois premières expériences montrent que les terres du téléphone ne jouent, dans le cas spécial considéré, aucun rôle au point de vue des perturbations téléphoniques qu'il décèle.

En d'autres termes, *au point de vue téléphonique*, les dérivations par la terre sont sans action.

Digitized by Google

J'insiste sur les mots *au point de vue téléphonique* parce qu'au voisinage des lignes de tramway le potentiel du sol est modifié, d'où passage de courants à variations lentes dus à la progression des voitures électriques, décelables au galvanomètre pendant les moments d'activité du tramway. Mais, comme le prouvent les expériences 2 et 3 où ces courants sont supprimés, ils n'exercent aucune action sur le téléphone, appareil sensible aux variations extrêmement rapides seulement.

Il n'en serait pas de même, ainsi que nous l'indiquerons plus loin, si l'une des terres du circuit téléphonique ou toutes les deux étaient très rapprochées des rails : à quelques mètres de distance, ou en rapport métallique avec eux.

Voyons maintenant de quelle nature sont les courants d'induction engendrés.

Les courants électromagnétiques qui pourraient se produire, seraient dus à la variation du nombre de lignes de force émises par le circuit inducteur et traversant le circuit induit.

Dans l'expérience 1, le circuit influencé est formé par le conducteur AB dans sa partie au droit du fil influençant et la terre.

Les lignes de force qui peuvent utilement le traverser, perpendiculaires au conducteur CD, se trouvent donc comprises dans un rectangle allongé de surface S, délimité par la terre, la partie du fil AB voisine de CD et les perpendiculaires sur le sol abaissées des points de AB en regard des extrémités du fil CD.

Dans le cas envisagé (fil à 8 m du sol, CD = 3 km) cette surface S mesurait approximativement $3000^{m} \times 8^{m} = 24\,000$ mq.

Les bruits perçus au téléphone résultaient donc de la superposition des courants de charge du fil AB dus à l'effet électrostatique seul et des courants électromagné-

Digitized by Google

tiques qui pouvaient y être engendrés par la variation des lignes de force traversant la surface S.

Mais dans l'expérience 3, la surface qui peut être utilement traversée par les lignes de force est réduite au rectangle s très petit, formé par les deux fils conjugués, au droit du fil perturbateur. Dans le cas où je me trouvais cette surface était au maximum : $s = 3000^{m} \times 0^{m}25 = 750$ mq.

Dans le second cas, l'effet électromagnétique $\left(e = -\frac{d\mathfrak{N}}{dt}\right)$ devait donc être réduit dans la proportion $\frac{s}{S} = \frac{750}{24\,000} = \frac{1}{32}$.

Or on ne percevait aucune différence sensible au téléphone 1, donc les courants électromagnétiques étaient négligeables.

La dernière expérience montre bien, au surplus, qu'il s'agit d'effets électrostatiques. Les téléphones deviennent silencieux, parce que les deux conducteurs conjugués se trouvant pratiquement à égale distance du fil perturbateur sont sensiblement portés au même potentiel. Il ne peuvent conséquemment prendre que des charges latérales, ne provoquant le passage d'aucun courant dans les téléphones.

* * *

Les résultats n'acquièrent cette netteté que pour autant que les terres du reliement téléphonique soient soustraites à toute relation directe par conduction avec le circuit de retour du courant variable.

S'il n'en est pas ainsi et que notamment une des terres ou toutes deux puissent être directement influencées par le circuit de retour, des dérivations plus ou moins importantes se produisent dans le circuit téléphonique.

On peut s'en assurer en répétant l'expérience 2. Lorsque l'on isole un des bouts de la ligne, les bruits perçus au poste opposé disparaissent en partie et il ne reste que ceux dus à la charge du fil.

Digitized by Google

Je crois pouvoir conclure des expériences que j'ai faites (dont la relation détaillée serait trop longue pour être reproduite ici), que :

1° les effets électrostatiques se font sentir les premiers et déjà aux distances relativement considérables de 50 à 300 mètres, suivant les longueurs des circuits influençants et influencés ;

2° ces effets peuvent, à eux seuls, apporter une entrave sérieuse aux communications ;

3° dès qu'une des terres du circuit téléphonique est très voisine des rails, les dérivations interviennent pour une part plus ou moins grande ;

4° les dérivations prennent une influence prépondérante quand les deux terres sont voisines des rails, le fil téléphonique se comportant alors comme une simple dérivation du circuit de retour du courant variable ;

5° les effets électromagnétiques paraissent en tous cas sinon négligeables, du moins notablement inférieurs aux autres.

M. **Francken,** *président,* adresse les remercîments de l'assemblée à M. Piérard pour cette nouvelle contribution à une étude qu'il a déjà abordée et propose d'en reporter la discussion à une prochaine séance. Adopté.

M. **L'Hoest,** qui s'occupe assez spécialement de la question de l'éclairage des gares, fait appel à l'assistance de tous ses camarades de l'Association, qui auraient l'occasion de lui fournir des données sur les installations réalisées, ou qui pourraient lui indiquer les sources où il lui serait possible de les obtenir.

M. **le Président** fait connaître à l'assemblée l'empêchement de M. Busset à faire la communication qu'il avait annoncée et lève la séance à midi et demi.

Digitized by Google

SÉANCE DU 28 OCTOBRE 1894.

Présidence de M. Francken, président.

Assemblée des membres effectifs.

Le seul article à l'ordre du jour est l'élection de quatre vice-présidents et de cinq commissaires pour l'année sociale novembre 1894 à octobre inclus 1895.

Prennent part au vote MM. d'Andrada, Bède, Bertemati, Bourquin, Brunhes, Ceccacci, Centurione, Chantraine, Clerici, Close, Colard, Dawson, De Bast, Decroës, Derclaye, Dewandre, Erens, Ferrand, Firket, Francken, Henrard, Gerleri, Grottendieck, Julius, Larmoyer, L'Hoest, Libert, Loewenstein, Manzi, Mélotte, Masson, Nieuwland, Nobili, Noë, Pescetto, Picard, Piérard, Poenaru, Planas y Escubos, Quinaux, Roosen, de Ryckere, Scheffer, Sée, Semenza, Turconi, Ver Eecke, Vitale, van Vloten, du Welz et Wéry.

Sont élus :

En qualité de vice-présidents MM. Francken, Henrard, Mélotte et Pescetto.

En qualité de commissaires MM. Bayet, Dawson, Larmoyer, Piérard et Winslow.

Assemblée ordinaire.

Ont signé la liste de présence MM. Brunhes, De Bast, Derclaye, Firket, Francken, Emile Gérard, Larmoyer, L'Hoest, Mélotte, Poenaru, Ver Eecke, Wéry.

M. L'Hoest présente les deux notes suivantes de M. **Piérard**, retenu à Bruxelles par les élections provinciales.

Digitized by Google

Rendement téléphonique du translateur Van Rysselberghe ; perte d'énergie dans des dérivations à forte self-induction.

Un mot d'abord au sujet des chiffres indiqués dans ma note précédente pour le rendement téléphonique de la bobine d'induction du microphone Grünenwald.

En discutant avec mon collègue Colard les conditions de nos expériences, nous nous sommes aperçu qu'un de nous avait fait une erreur constante de 10 centimètres en trop dans les mesures, erreur portant sur les colonnes 1, 2 et 4 du tableau page 168.

En rétablissant exactement les chiffres, ce tableau devient :

En circuit 6 et 4 bobines

N° des expériences →	1	2	3	4	5
l'	42	39,5	33,4	35	53
l	100	94	79,8	84,5	138
Valeurs de K	0,42	0,42	0,418	0,414	0,384

dont les résultats sont beaucoup plus satisfaisants, au point de vue de la concordance d'un opérateur à l'autre.

La moyenne de K est ainsi abaissée à 0,411.

Et la proportion entre l'énergie minima capable d'actionner le téléphone et celle engendrée dans le primaire du microphone devient $(0,411)^{19} = 0,000\,000\,046$.

Comme je l'indiquais dans la note prérappelée, la méthode que j'ai développée pour la mesure du rendement téléphonique des appareils de transformation employés en téléphonie, peut être simplifiée en supprimant une des deux rangées de bobines.

Digitized by Google

Le schéma de l'installation prend alors la forme représentée fig. 1. L_1 et L_2 sont les deux fils de ligne ; A_1, A_2,... les bobines d'induction *dont le nombre peut être réduit à trois* ; B_1, B_2 des commutateurs à deux directions, *t* le téléphone.

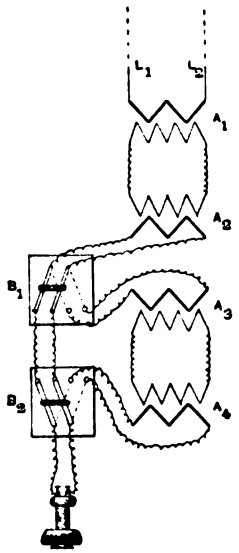


Fig. 1.

Montage de l'installation pour la mesure de rendement téléphonique.

Un chiffre intéressant à déterminer est celui du rendement téléphonique du translateur Van Rysselberghe. J'ai trouvé 43 %.

Il montre l'énorme déchet auquel on consent en construisant des réseaux à simple fil, qu'on est, comme on le sait, forcé de rattacher entre eux par des circuits bifilaires entièrement *métalliques* et pourvus de croisements, pour éviter les phénomènes d'induction mutuelle.

Si, ainsi que le cas se présente encore souvent en Belgique, deux réseaux unifilaires sont mis en correspondance, le passage par les deux translateurs ne laissera

Digitized by Google

disponible à l'arrivée, que 0,43 × 0,43 = 0,18 environ de l'énergie transmise, soit un déchet d'environ 82 °/₀.

De tels chiffres condamnent absolument l'emploi des réseaux à simple fil.

***

Ce rendement peu élevé assigné au translateur, paraîtra peut-être à certains téléphonistes, en contradiction avec ce fait d'expérience que, lorsqu'une communication téléphonique interurbaine entièrement à double fil s'effectue dans de mauvaises conditions, on obtient souvent un résultat plus satisfaisant, par l'emploi du translateur.

La contradiction n'est toutefois qu'apparente.

Lorsqu'une ligne d'abonné à double fil est dérangée, par suite de la présence d'une terre, par exemple, et qu'on la connecte à une ligne interurbaine, des bruits parasites de friture dus à la charge des fils naissent dans le téléphone. Par l'emploi du translateur, dont les deux circuits sont nettement séparés l'un de l'autre, la ligne bifilaire interurbaine reste indemne de toute terre, celle-ci se trouvant reportée dans le circuit inducteur du translateur. L'influence accidentelle de la terre disparaît donc. Cette influence nocive est aussi éliminée en grande partie si la terre se trouve sur la ligne interurbaine elle-même par l'emploi du translateur, en vertu de la grande absorption d'énergie qui s'effectue dans cet appareil. L'intensité de la communication est bien réduite de 50 °/₀. Mais comme les bruits parasites sont absorbés, les paroles ne sont plus noyées dans le bourdonnement vague caractéristique de la friture et la communication devenue plus claire, paraît par contraste *plus forte*, quoique le contraire soit vrai.

C'est ce qui a engagé quelques constructeurs de tables multiples bifilaires, à les monter de telle sorte que l'on puisse livrer à volonté les communications interurbaines soit par circuit métallique complet et continu, soit par l'intermédiaire d'un translateur.

Digitized by Google

La table du réseau à double fil de Lille satisfait à ce desideratum.

***

J'ai cherché une vérification expérimentale du fait que *le rendement téléphonique de la bobine d'induction est indépendant de la charge.*

J'ai, dans ce but, réalisé le montage fig. 2, dans lequel L_1 et L_2 sont les deux fils de ligne en relation avec un poste téléphonique ; B_1, B_2, des commutateurs à deux directions; A un translateur Van Rysselberghe; E_1, E_2, des électro-graduateurs Van Rysselberghe dont la résistance est d'environ 500 ohms et le cœfficient de self-induction 12 henrys environ (1) pour un courant de $0^A,003$.

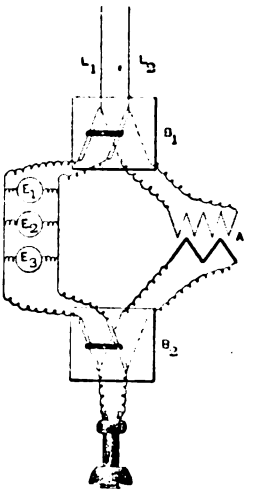


Fig. 2.

(1) Bulletins n° 10 à 12, août-septembre-octobre 1892. Voir aussi dans le n° 8 à 10 de juillet 1894 la *note* de M. Roosen *sur les mesures de cœfficients de self induction de quelques appareils utilisés en télégraphie et téléphonie.*

Digitized by Google

Les courants étant engendrés par le d'une tic-tac montre posée sur le microphone du poste, il a fallu placer en dérivation sur le téléphone t, 27 électro-graduateurs Van Rysselberghe, pour que l'intensité du son rendu par le téléphone fût la même, que les commutateurs fussent poussés à fond vers la droite ou à fond vers la gauche.

En remplaçant alors le tic-tac de la montre par la voix, on pouvait aisément constater que l'équilibre n'était pas troublé.

La répartition de l'énergie dans un système de conducteurs donnés étant indépendante de la charge (à part la faible différence pouvant provenir ici d'une inégale variation du cœfficient d'induction des électro-graduateurs et du téléphone) il en résulte que la proportion d'énergie transmise par le translateur est restée la même dans les deux cas, malgré l'énorme variation de l'énergie.

Les sons vocaux transmis s'éteignaient en effet à la distance de 155 cm du téléphone, tandis que le tic-tac de la montre n'était plus perçu dès que l'on écartait le téléphone à moins de 1 centimètre de l'oreille. En admettant que l'énergie téléphonique rendue soit proportionnelle au carré de la distance pour laquelle les sons s'éteignent, les charges dans les deux expériences variaient approximativement dans le rapport

$$\frac{1}{155^2} = \frac{1}{24\,025}$$

Traduisons maintenant algébriquement l'expérience relatée plus haut.

Elle indique que la perte d'énergie dans les 27 dérivations des électros est égale à celle due au passage par le translateur. En appelant x la perte d'énergie subie dans un des graduateurs, on a, le rendement du translateur ayant été trouvé 0,43 :

$$27\,x = 0{,}57$$
$$x = 2{,}11\ \%.$$

Digitized by Google

Le déchet dû à une dérivation à grand cœfficient de self-induction est donc faible. Celui qu'occasionne le passage par un translateur est au contraire considérable.

On peut en tirer une conclusion très importante, relativement aux transmissions simultanées télégraphotéléphoniques : *Les systèmes mettant à contribution un transformateur sont, au point de vue de la bonne utilisation de l'énergie, dans un état d'infériorité manifeste, vis-à-vis de ceux où le raccordement téléphonique se trouve placé en dérivation sur une résistance à grande impédance.*

Le commutateur téléphonique multiple en dérivation ou bridging-system.

Le but des commutateurs multiples est, comme on sait, de permettre à un employé téléphoniste quelconque, de réunir entre eux les circuits de deux abonnés quelconques de réseaux pouvant atteindre 10 et même 12 000 lignes, lignes, *sans devoir recourir à l'intervention d'aucun de ses collègues.* Faisons toutefois immédiatement remarquer que les plus grands appareils de l'espèce ne dépassent pas, du moins jusque maintenant, le chiffre déjà très respectable de 6 000 abonnés.

Pour réaliser le desideratum énoncé ci-dessus, on insère dans chaque ligne aboutissant au bureau central, un *jack* ou *conjoncteur*, dans chacun des panneaux desservis par un des préposés.

La ligne n° *n* par exemple, possède un jack général marqué *n* dans un tableau de la première table partielle, un jack général marqué *n* dans le tableau correspondant de la seconde table partielle et ainsi de suite dans toutes les tables, pour aboutir à un jack spécial et un annonciateur individuel situés dans le panneau de la table partielle où se tient l'employé qui aura à recevoir et à donner suite à toutes les demandes émanant de l'abonné *n*.

Digitized by Google

Les jacks sont des contacts constitués par des ressorts métalliques juxtaposés. Ils sont disjoints lors de l'introduction d'une fiche.

Jusque dans ces dernières années, les jacks des diverses tables partielles ont été reliés en série. Ce montage présente l'inconvénient que si l'un d'eux a ses pièces en contact isolées par suite de l'interposition d'une poussière non conductrice, la ligne tout entière de l'abonné se trouve hors service.

Pour y remédier on a adopté, dans les commutateurs récents et pour le double fil, le montage des jacks en dérivation.

C'est un appareil de ce genre que nous allons décrire.

Remarquons toutefois que ce dispositif n'est pas à l'abri de toute critique. Si deux pièces d'un jack viennent à se mettre accidentellement en contact, la ligne devient inutilisable, vu le court-circuit qu'elle présentera en ce point. Il est vrai d'ajouter que cette éventualité paraît devoir se présenter moins souvent que celle de l'isolement causé par l'interposition des poussières.

Nous allons décrire successivement les organes mis en jeu, avant de nous occuper de la position qu'ils occupent et du rôle qu'ils jouent dans l'ensemble des connexions.

Jacks. — Les jacks se composent (fig. 1) de 3 lames-ressorts EF, CD, BA, séparées par des plaquettes en ébonite. La partie cylindrique ou canon du jack est divisée en deux sections G_1 et $G'G_2$ isolées l'une de l'autre et de diamètres différents.

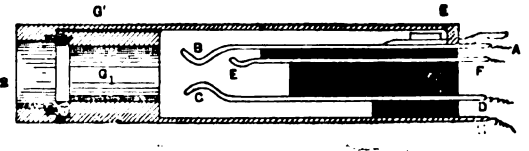


Fig. 1.

Digitized by Google

G_2 l'anneau d'avant, de plus grand diamètre, est réuni métalliquement à la lame BA. F et H sont en connexion avec les fils de ligne ; D avec la pile d'essai servant à déceler si un abonné est en communication ou non.

Fiches. — Les fiches (fig. 2) sont entièrement semblables aux fiches ordinaires du commutateur bifilaire, sauf qu'elles présentent entre la pointe et la partie cylindrique extérieure, un anneau métallique isolé *bc*.

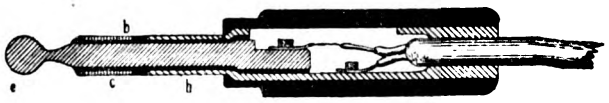
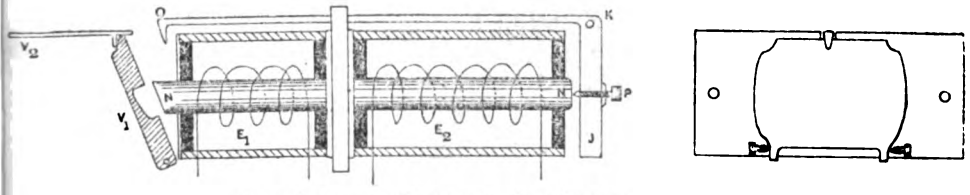


Fig. 2.

Lorsqu'une fiche est insérée dans un jack, *e*, et par suite un des fils du cordon souple est en contact en E (fig. 1) avec la lame EF ; les lames AB, CD, sont réunies métalliquement par l'anneau *bc* ; G_1, donc H, est en contact avec le cylindre extérieur *h* de la fiche, et se trouve ainsi en relation avec le second conducteur du cordon.

Annonciateurs. — Les annonciateurs sont à relèvement automatique. Ils comportent (fig. 3 et 4) deux enroulements, l'un E_1 de 40 ohms de résistance, l'autre E_2 de 800 ohms, montés sur le noyau NN et entourés d'un cylindre en fer doux pour renforcer les attractions exercées sur les armatures et augmenter leur coefficient de self-induction.



Anonciateur à relèvement électrique automatique.

Fig. 3 et 4.

L'enroulement E_2, qui vient en dérivation sur les fils de ligne, fonctionne comme dans les annonciateurs ordinaires. Sous l'influence des courants qui le traversent, il attire la

Digitized by Google

flasque JK, dont l'écartement minimum est réglé par la vis P. JK bascule et fait déclencher l'armature V_1, laquelle, a son tour, projette horizontalement le voyant léger en aluminium V^2 qui la cale. Le n° de l'annonciateur que porte V_1 est ainsi démasqué.

Lorsqu'un courant d'intensité convenable traverse l'enroulement E_1, c'est l'armature V_1 qui est attirée et vient se renclencher, tandis que le voyant V_2 reprend la position verticale qu'il avait préalablement.

Clés et boutons d'appel. — Les clés se composent de deux lames métalliques flexibles R et R' (fig. 5) reposant dans la position d'attente sur les contacts C et C'.

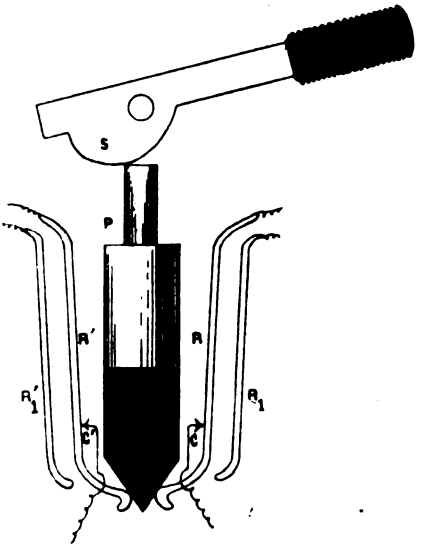


Fig. 5.

Lorsqu'elles sont écartées par l'extrémité en ébonite biseautée de la tige P, elles abandonnent C et C' pour prendre contact avec les lames R_1 et R'_1. La tige P est déplacée vers le bas par l'excentrique S, lorsque le levier L est redressé.

Digitized by Google

Les boutons ne diffèrent des clés qu'en ce que le levier L est supprimé et l'extrémité supérieure de P coiffée d'un bouton en ébonite.

Montage des fiches et clés. — Les fiches sont conjuguées aux clés et au poste de l'opérateur, suivant le schéma représenté (fig. 6).

Les deux fiches W_1, W_2, se rattachent d'abord à deux boutons d'appel b_1 et b_2, permettant de connecter avec leurs conducteurs, la magnéto d'appel M raccordée aux barres d'appel général f_1 f_2.

Des boutons, deux fils l_1, l_2 vont à la clé H commandant le poste de l'opérateur, dont le milieu est mis sur terre.

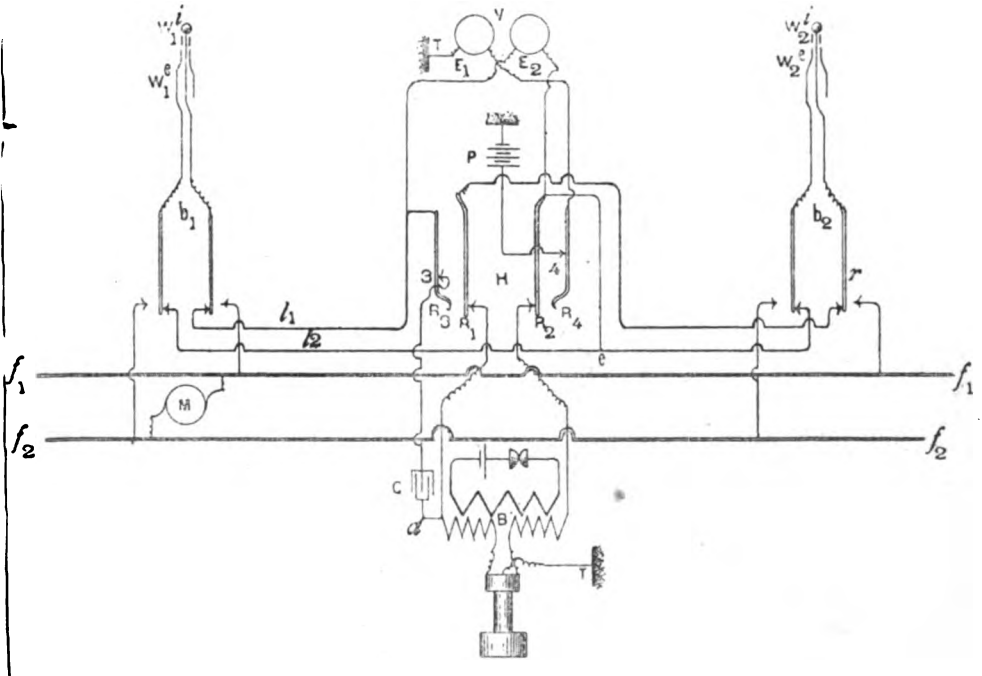


Fig. 6.

Digitized by Google

Dans la position d'attente, les deux conducteurs de la fiche W_1 sont en rapport avec l_1, l_2, l_1 aboutit en i, où se trouvent deux bifurcations : une vers l'enroulement de fin de conversation E_2 de l'annonciateur V, l'autre vers le poste de l'opérateur Bl en passant par 3, R_3, le condensateur C et d. Ces deux bifurcations se rejoignent à la lame R_2, pour aller se rattacher en c au second conducteur l_2.

Entre le condensateur C et l'enroulement secondaire B du poste de l'opérateur, se trouve l'embranchement continuant le premier conducteur l_1 par la lame R_1, le bouton b_2 et la fiche W_2.

En temps normal, l'annonciateur de fin de communication et le poste de l'opérateur sont donc établis en dérivation sur les deux conducteurs des fiches.

D'autre part, le contact 4 de la lame R_4 permet l'envoi du courant de la pile P dans l'enroulement E_1 de l'annonciateur V, ce qui maintient ce dernier enclenché.

Lorsque l'opérateur abaisse la clef H, les lames R_1 et R_2 vont toucher les lames R_3 et R_4, prenant contact avec elles et les séparant de leurs buttoirs de repos. L'enroulement E_2 reste seul en dérivation sur les deux conducteurs des fiches, tandis que la pile P n'étant plus en communication avec l'enroulement E_1 permet le fonctionnement éventuel de l'annonciateur V.

Montage des circuits. — Les lignes sont groupées par tables partielles subdivisées elles-mêmes en tableaux comprenant chacun le nombre d'abonnés desservis par un employé. Ce nombre dépend évidemment de l'activité du réseau.

Prenons, pour préciser, l'exemple du commutateur de Zurich dont les tables partielles comprennent chacune 360 abonnés. Elles se subdivisent en 3 tableaux de 120 lignes desservis chacun par un employé. Ce dernier dispose, pour l'établissement des connexions, de 15 clés et paires de fiches.

Digitized by Google

Les deux fils L_1 et L_2 d'une ligne, passent dans la première table partielle, où se trouve établi en dérivation le jack J_1, (fig. 7) dans la seconde, la troisième, etc., tables partielles, où se trouvent installés de la même manière les jacks J_2, . . . J_n, pour revenir à un jack individuel j_1 du tableau desservi par l'employé chargé de répondre aux appels de la ligne en question. C'est également dans ce tableau que se trouvera l'annonciateur V_1 de cette ligne. La (fig. 7) est tracée dans l'hypothèse d'un abonné de la première table partielle.

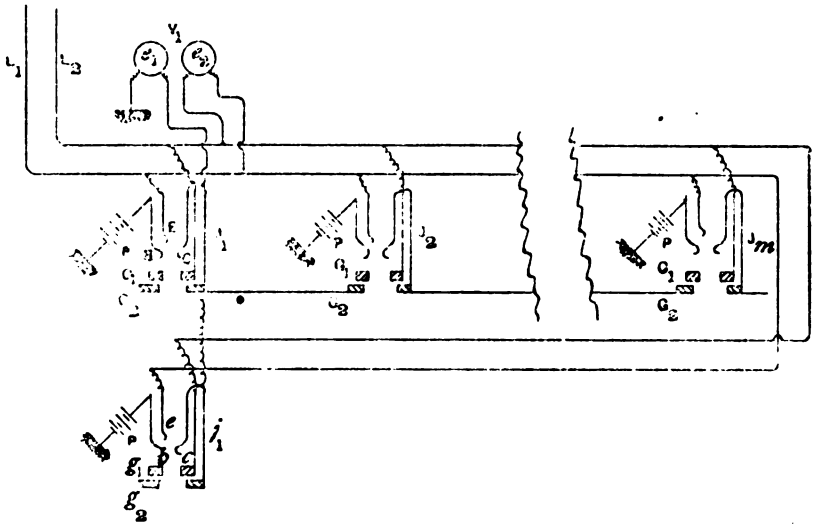


Fig. 7.

S'il s'agit de la ligne 42, celle-ci présentera un jack général 42 dans chacune des tables partielles, et son jack individuel avec son annonciateur se trouvera dans le premier tableau de la première table partielle. S'il s'agit de la ligne 605, elle présentera un jack général 605 dans chacune des tables partielles, puis son jack individuel et son annonciateur dans le troisième tableau de la seconde table particlle (s'il existe 120 lignes par tableau) et ainsi de suite.

Digitized by Google

Manœuvre de l'appareil. — Supposons que l'abonné n° 42 dont le circuit est représenté fig. 7 sonne. L'enroulement e_2 de son annonciateur fait déclencher le volet V_1, découvrant le n° 42. Ainsi prévenu, l'employé du premier tableau saisit une fiche W_1 (fig. 6) et l'introduit dans le jack individuel j_1 de la ligne 42.

La partie centrale W_1^i prend contact avec la lame *e* raccordée au fil de ligne L_1, tandis que la partie extérieure W_1^e touche le cylindre g_1 en rapport avec le second fil de ligne L_2. En même temps, l'anneau métallique *bc* (voyez aussi fig. 2) de la fiche, raccorde les lames *b* et *c*, ce qui envoie le courant de la pile P dans l'enroulement e_1 de l'annonciateur 42 et renclenche automatiquement son volet.

Le poste du tableau se trouvant connecté avec les fils de ligne de l'abonné, le préposé peut prendre les ordres de celui-ci. Il demande par exemple l'abonné 2 000.

L'opérateur saisit la seconde fiche W_2 conjuguée à W_1 et touche avec sa pointe W_2^i le cylindre extérieur G_2^i du jack 2 000.

Deux cas peuvent ce présenter.

1° *L'abonné 2 000 n'est pas en communication en ce moment.* — Le contact de W_2^i avec le canon du jack 2 000 ne produit aucun bruit dans le téléphone du préposé, ce qui indique que le circuit est libre. L'opérateur continue à enfoncer la fiche jusqu'à refus, connectant ainsi les deux conducteurs de la fiche W_2 avec les deux fils de la ligne 2 000. Il presse alors sur le bouton b_2 (fig. 6) pour provoquer l'envoi de courants d'appels et quand l'abonné répond il dit : « parlez » puis abaisse la tige P de la clé H conjuguée aux fiches utilisées, en relevant le levier L (fig. 5).

Cette dernière manœuvre a pour effet comme nous l'avons vu, d'abaisser la tige P, supprimer son poste du circuit et laisser en dérivation l'annonciateur V. Le relèvement de la clé a d'ailleurs rompu le contact 4,

Digitized by Google

déconnectant la pile P, en sorte que rien ne met obstacle au fonctionnement éventuel de l'annonciateur de fin de communication V.

On remarquera que *trois* annonciateurs restent en dérivation sur le circuit, celui de chaque abonnné et celui de fin de communication, ce dernier seul pouvant déclencher. C'est évidemment un point faible. En cas de communication interurbaine directe, empruntant deux bureaux centraux seulement, il y aurait au moins 6 annonciateurs en dérivation sur le circuit. Remarquons en passant que l'on pourrait facilement supprimer celui de l'abonné demandeur, en faisant aboutir un des fils de l'enroulement e_2 à une lame prenant contact avec e et restant isolée lorsqu'une fiche est introduite dans le jack j_1.

Quoiqu'il en soit, ces annonciateurs ont une grande impédance et ne nuisent pas sensiblement à la transmission, paraît-il, fait d'ailleurs corroboré par l'expérience finale décrite page , du présent bulletin.

Lorsque l'annonciateur de fin de communication déclenche, l'opérateur abaisse la clé H, écoute un moment sur le circuit pour s'assurer que la communication est bien terminée et retire les fiches.

2° *La ligne 2 000 est occupée.* — Par le fait même, l'anneau extérieur G'_2 de son jack est mis, dans le tableau où la communication est établie, en connexion par la lame C ou *c* (fig. 7) avec la pile P.

Quand l'employé touche avec la partie W'_2 de sa fiche W_2 l'anneau du jack 2 000, le courant de la pile passe par W'_2, la lame *r* du bouton b_2, la lame R_1 de la clé H, *d*, l'enroulement gauche de la bobine d'induction B et le téléphone de l'opérateur pour aller prendre terre en T. Le téléphone émet un « clac » ce qui indique que la ligne est occupée. L'employé retire la fiche et annonce à l'abonné demandeur que la ligne 2 000 n'est pas libre.

Le condensateur C dont la capacité varie de 0,75 à 1,22 microfarad, empêche le courant de se bifurquer par R_3,

Digitized by Google

3, l_1, le poste de l'abonné demandeur, l_2, c, R_2, le téléphone et la terre, ce qui produirait des bruits gênants dans le téléphone de l'abonné ; ou par E_2 et la lame R_2 puis l'enroulement secondaire et la terre, ce qui pourrait faire déclencher intempestivement V.

Dans le système que nous venons de décrire, les opérations à effectuer pour établir une communication sont réduites. Grâce au relèvement automatique du volet de l'annonciateur, chaque employé peut desservir un plus grand nombre d'abonnés qu'avec le multiple ordinaire. A Zurich, par exemple, comme nous l'avons indiqué plus haut, les employés sont individuellement chargés de 120 abonnés. A Bruxelles, où fonctionne le multiple ordinaire, ils ne desservent chacun que 100 lignes et le service est déjà très chargé à certaines heures.

D'autre part, les annonciateurs peuvent être reportés à la partie supérieure de l'appareil. La place réservée aux jacks généraux augmente d'autant et la capacité du commutateur se trouve considérablement augmentée pour un même encombrement horizontal.

Réalisation pratique de l'appareil. — La fig. 8 donne la vue du multiple en dérivation d'Albany NY.

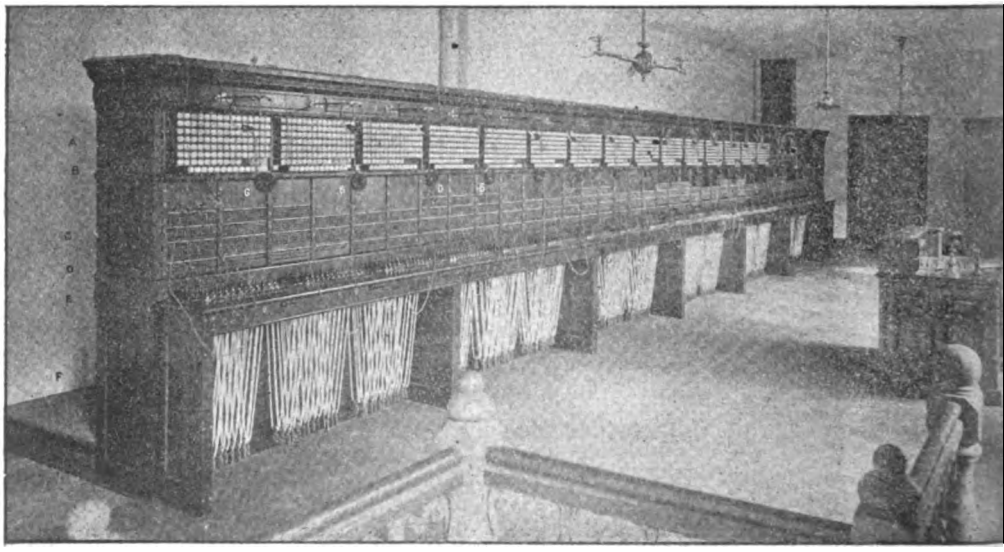


Fig. 8. — Commutateur multiple en dérivation d'Albany NY.

Digitized by Google

A la partie supérieure, à la hauteur de A, se trouvent les annonciateurs de ligne. Immédiatement en dessous viennent sur une seule rangée, les annonciateurs de fin de communication, en B. Les jacks généraux se distribuent dans le panneau C puis se présentent, en D, les jacks individuels. En E se trouve la tablette portant les fiches, boutons d'appel et clés; en F les cordons tendus par leurs contre-poids; en G le microphone des employés.

Le *bridging system* est appliqué notamment à New-York, Albany, Pittsburg, Hull, Zurich. On l'installera prochainement à Rouen.

M. **le Président** propose de remettre la discussion de ces notes après leur insertion au bulletin. Adopté.

L'assemblée décide ensuite que le banquet annuel aura lieu dans la soirée du 24 novembre et l'excursion le 24 novembre (environs de Liége) et les 26 et 27 novembre, à Amsterdam.

La séance est levée à midi et demi.

Digitized by Google

CHRONIQUE.

Informations. — *Examens de sortie de l'Institut Montefiore.* — Ont subi les examens de sortie pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur électricien :

Avec grande distinction :

MM. Julius, Charles-Henri, de Gouda ;
Saroléa, Jean, de Hasselt ;
Goetzen, Boleslas, de Varsovie ;
Steels, Oscar, de Heusde ;
Nobili, Dino, de Florence ;
Ver Eecke, Abel, de Menin ;
Ferrand, Alphonse, de Pont-de-Beauvoisin ;
Semenza, Guido, de Londres.

Avec distinction :

MM. Planas y Escubos, Juan, de Geroua ;
Philippe, Georges, de Binche ;
Bronne, Louis, de Liége ;
Scheffer, Jean, de Rotterdam ;
Vitale, Maurice, de Biella ;
Clérici, Carlo, de Milan ;
Busset, Paul, de Lausanne ;
Magenties, Louis, de Londres ;
Nyssens, Paul, d'Anvers ;
Calmeau, Léon, de Mons ;
Erens, Fritz, de Heerlen ;
Revel, Francisco, de Milan ;
Ceccacci, Pietro, d'Ancône ;
Javal, Jean, de Paris ;
Michaux, Camille, de Fresnes ;
Herdt, Louis, de Trouville ;
Poenaru, Dimitri, de Bucharest ;
Dutilleux, Maurice, d'Ohey ;
de Aguiar d'Andrada, Edouard, de Santiago ;
Delepaulle, Hubert, de Gand ;
Peelers, Julien, de Liége ;
Wery, Emile, de Liége.

Digitized by Google

D'une manière satisfaisante :

MM. Antoniades, Alexandre, d'Andrinople ;
Crombé, Georges, de Tournai ;
Dubois, Alfred, d'Ypres ;
Van Aardenne, Jean, de Dordrecht ;
Polysu, Constantin, de Bucharest ;
Decroes, Joseph, de Mons ;
Durand, Joseph, de Buenos-Ayres ;
Bouva, Jean, d'Ostende ;
Nieuwland, Pierre, d'Anvers.

La couleur de la lumière du bec Auer. — M. Von K. Mützel, (1) au moyen d'un photomètre spectroscopique, a établi le rapport des intensités lumineuses relatives des différentes couleurs du spectre de la lumière solaire, de la lampe incandescente électrique, de l'arc voltaïque comparées aux intensités de nuance correspondante dans la flamme du bec Auer. Le rapport étant invariablement fixé à 1 pour le jaune de 589 millionnièmes de millimètre de longueur d'onde, les résultats numériques des mesures sont les suivants :

Longueurs d'onde en millionnième de millimètre	Couleurs	Rapport à la lumière du bec Auer de la lumière		
		incandescente électrique	de l'arc voltaïque	solaire
800	Ultra rouge	4.04	0 57	0.34
760	Rouge	2 59	0.73	0.53
686	Rouge	1.67	0.80	0.62
656	Orange	1.15	0.90	0.92
589	Jaune	1.00	1.00	1.00
570	Jaune	0.95	1.08	1.19
542	Jaune-vert	0.83	1.23	1.72
527	Vert	0.81	1.66	2.13
517	Vert	0.79	2.02	2.60
500	Bleu-vert	0.91	2.48	4.35
486	Bleu	1.00	3 32	5.91
466	Bleu	1 05	4.06	6.79
458	Bleu	1.10	4.69	7.69
447	Indigo	1 20	6.67	8.75
431	Indigo	1 36	10.52	12.63
423	Violet	1.51	18 32	18.77
416	Violet	1.74	28.78	25.54

(1) Elekt. Zeit. 30 août 1894

Digitized by Google

On voit combien la lumière de l'arc voltaïque se rapproche plus qu'aucune autre de la lumière solaire ; comparée à la lumière de la lampe incandescente électrique, la lumière du bec Auer est plus riche en rayons verts et ce fait explique la teinte glauque de cette flamme. Lorsque des tons chauds sont recherchés, c'est évidemment la lampe à incandescence électrique qui doit être préférée. G. L.

Digitized by Google

TABLES DES MATIÈRES.

Partie administrative.

Liste des membres de l'Association 3
Procès-verbal de la séance du 26 novembre 1893 17
Rapport annuel du Secrétaire-Général. 17
Adresse inaugurale du Président. 21
Procès-verbal de la séance du 21 janvier 1894 55
Rapport du Trésorier 55
Procès-verbal de la séance du 25 février 1894. 64
Procès-verbal de la séance du 15 avril 1894 97
Procès-verbal de la séance du 27 mai 1894 165
Procès-verbal de la séance du 29 juillet 1894. Election présidentielle. 185
Procès-verbal de la séance du 7 octobre 1894. 277
Procès-verbaux des séances du 28 octobre 1894. — Assemblée des membres effectifs. — Elections — Assemblée ordinaire. . 303

Communications techniques et scientifiques.

Mémoires.

E. Francken. — Discours sur les unités fondamentales. . . 22
E. Francken. — Note sur le maximum de sensibilité dans les méthodes de Thomson et de Mance, pour la détermination de la résistance d'un galvanomètre ou d'une pile 56
Discussion de la précédente note. Expériences de MM. *Revel, Semenza, Clérici, Muret, Chemin Palma* 82
G. L'Hoest. — La locomotive électrique de M. Heilmann . . 64
P. Dawson. — Le tramway électrique de Guernsey 97
Professeur Ferraris. — *E. Francken, traducteur.* — Mémoire sur une théorie des vecteurs rotatoires et des vecteurs alternatifs et une application de cette théorie aux moteurs alternatifs 117
Piérard. — Note sur le rendement de la bobine d'induction téléphonique 165
Roosen. — Note sur les mesures de coefficients de self-induction de quelques appareils utilisés en télégraphie et en téléphonie 186

Digitized by Google

W. Dierman. — Note sur le calcul des lignes aériennes de tramways électriques. 194
G. Semenza et *C. Clérici.* — Notes de voyage. 240
P. Dawson. — Note sur le circuit de retour d'un tramway électrique 277
Piérard. — De la nature des perturbations téléphoniques produites dans les lignes aériennes au voisinage de conducteurs parcourus par des courants variables 296
Piérard. — Rendement téléphonique du translateur Van Rysselberghe ; perte d'énergie dans les dérivations à forte self-induction. 304
Piérard. — Le commutateur téléphonique multiple en dérivation ou bridging-system 309

Comptes-rendus, traductions, extraits.

Visite du Roi des Belges à l'Institut Montefiore 48
Règlement du Board of Trade sur les conditions d'établissement des lignes de tramways électriques, avec retour par la terre (trad *M. Mélotte*) 157
L'unification des filetages. — G. L. — 173
Distribution à trois conducteurs, à l'aide d'une seule dynamo (*M. Julius*) 178
Les chemins de fer électriques (*M Julius*). 180
La lampe à incandescence. — Résumé d'une conférence de M. Larnande (*M. Philippe*) 249
L'électricité comme puissance motrice dans les industries du fer et de l'acier, par M. Selby-Bigge. (*M. Javal, trad.*) . . . 252
La couleur de la lumière du bec Auer — G. L. — 321

Divers.

Nécrologie. — Heinrich Hertz 93
Bibliographie. — La téléphonie historique, technique, appareils et procédés actuels par Emile Pierard. 156
Traité pratique et théorique des courants alternatifs industriels par Loppé et Bouquet. (*M. Julius*). 180

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07500 2082
UNIVERSITY
DEC 21 1910
OF MICHIGAN
Digitized by Google

Digitized by Google